

# Mineralizações de Antimónio em Trás-os-Montes – O caso de estudo da mina do Sítio Da Coitadinha

Cláudia Patrícia Rêgo Correia

Mestrado em Geologia

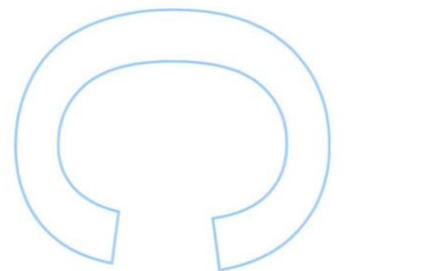
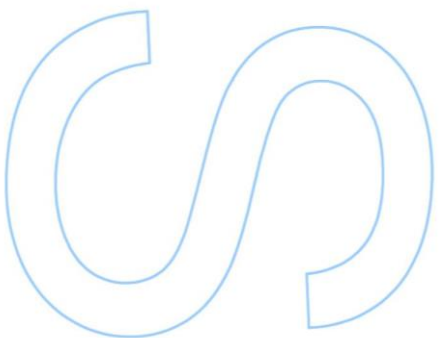
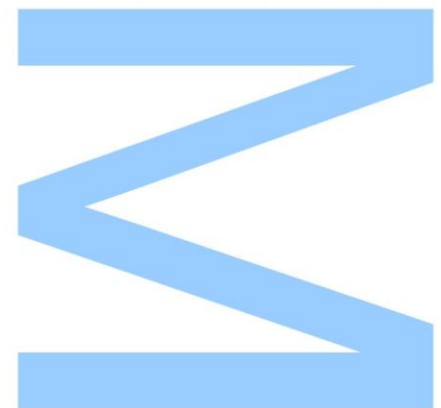
Departamento Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território  
2016

## Orientador

Fernando Manuel Pereira de Noronha  
Professor Catedrático  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

## Coorientador

Maria Alexandra Mascarenhas Guedes  
Professor Auxiliar  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

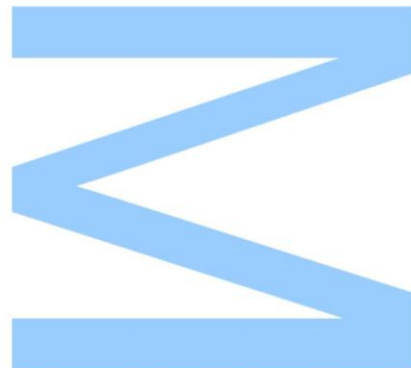




Todas as correções determinadas  
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_





«Queridos estudantes!

Regozijo-me por vos ver hoje diante de mim, alegre juventude de um país abençoado.

Lembraí-vos de que as coisas maravilhosas que ireis aprender nas vossas escolas são a obra de muitas gerações, levada a cabo por todos os países do mundo, à custa de muito entusiasmo, muito esforço e muita dor. Tudo é depositado nas vossas mãos, como uma herança, para que a aceitem, honrem, desenvolvam e a transmitam fielmente um dia aos vossos filhos. Assim nós, embora mortais, somos imortais nas obras duradouras que criamos em comum.

Se tiverem esta ideia sempre em mente, encontrarão algum sentido na vida e no trabalho e poderão formar uma opinião justa em relação aos outros povos e aos outros tempos.»

**Albert Einstein,**  
***In: Como Vejo o Mundo***



## **Agradecimentos**

Este trabalho apenas foi possível devido à colaboração de várias pessoas, que através do apoio, do incentivo e do esclarecimento de algumas dúvidas possibilitaram a sua execução.

Ao meu orientador, Professor Doutor Fernando de Noronha, que aceitou ser meu orientador científico e a quem devo a sugestão do tema deste trabalho. Agradeço ainda a liberdade que me deu na estruturação deste trabalho e por sempre se interessar em transmitir-me todos os seus conhecimentos.

À minha coorientadora, Professora Doutora Alexandra Guedes, por ter possibilitado a realização deste trabalho, pelo seu incansável apoio no decorrer do mesmo e porque mais que uma professora foi uma amiga que sempre se disponibilizou a ajudar.

À Professora Doutora Maria dos Anjos, a sua total disponibilidade e preciosa ajuda na descrição das amostras visualizadas.

À D. Irene e ao Centro de Materiais da Universidade Do Porto (CEMUP), que prepararam as lâminas e realizaram os estudos ao microscópio eletrónico de varrimento, respetivamente.

Aos meus amigos, em especial, à Ana, à Rita e ao Rúben, o incentivo, o apoio e a amizade prestada no decorrer desta enorme etapa.

À minha família, em especial, aos meus avós Albertina e Fernando, aos meus padrinhos Luísa e Manuel, aos meus tios Inês e Miguel, pela insistência em fazer mais e melhor, pelo apoio e carinho dado durante esta jornada e ao longo de toda a minha vida.

Aos meus pais, pelo incansável exemplo de coragem e determinação, a dificuldade de expressar em poucas linhas o apoio e amor incondicional durante a minha vida. Obrigada pela sua compreensão, carinho e ajuda na resolução dos problemas desta longa aventura.

Por último, mas não menos importante, ao Daniel, devo o profundo agradecimento por me aturar, por me apoiar em todas as minhas loucuras e por me acompanhar ao longo desta árdua caminhada. Soube aconselhar e criticar quando necessário, como sempre e em tudo na minha vida. Agradeço também pelas alegrias, momentos felizes, desânimos, angústias e essencialmente pelo amor, carinho e compreensão.



## Resumo

O presente trabalho tem como tema “Mineralizações de Antimónio em Trás-os-Montes – o caso de estudo da mina do “Sítio da Coitadinha””. O seu principal objetivo é estudar estas mineralizações, recorrendo à microscopia de luz transmitida, microscopia de luz refletida, micro-espectroscopia Raman e microscopia eletrónica de varrimento.

As técnicas utilizadas permitiram estudar esta mineralização que ocorre associada a rochas metassedimentares, nomeadamente filitos. Identificaram-se minerais metálicos como a arsenopirite, a pirite, o ouro, a calcopirite, a esfalerite, a galena, a estibina, a bertierite, a calcostibite e os óxidos de antimónio (Sb); e não metálicos como o quartzo, a clorite e a calcite, assim como o seu modo de ocorrência.

O quartzo euédrico terá sido o primeiro mineral a depositar seguindo-se o quartzo em mosaico. A arsenopirite I, foi o primeiro sulfureto a formar-se e a ela seguiu-se a pirite I. O ouro, ocorre no interior da pirite I.

Este primeiro estágio, poderá corresponder a um estágio ferro-arsenífero primário. Foram também identificados calcopirite e esfalerite, posteriores à associação descrita nos estádios ferro-arseníferos. Relativamente à galena, devido à sua escassez nas amostras estudadas, não podemos estar seguros quanto à sequência deposicional. No entanto, o seu modo de ocorrência, corresponde ao que designamos ser o estágio zinco-cupro-plumbífero.

Uma segunda geração de arsenopirite e pirite é observada, porém não se conseguiu estabelecer uma relação entre as duas gerações. Este estágio, foi denominado de ferro-arsenífero secundário. De referir ainda, a presença de clorite não só na rocha encaixante, como a rodear a arsenopirite I e a pirite I. A bertierite e a estibina, preenchem fraturas dos sulfuretos anteriormente depositados. A calcostibite aparece após a deposição destes últimos, sugerindo um estágio antimonífero. Posteriormente, ocorreu a deposição de carbonatos, que não evidenciam qualquer relação de deposição com os restantes minerais. Finalmente, a cervantite e a senarmontite, ter-se-ão formado devido a processos de alteração supergénica.

Algumas das amostras estudadas revelam uma mineralogia simples que consta no essencial de quartzo, estibina e bertierite, o que leva a admitir uma deposição em ambientes de baixa temperatura. Porém, a presença de minerais como a arsenopirite e a pirite, evidenciam eventos característicos de mais alta temperatura, provando a existência de diferentes períodos de circulação de fluidos mineralizadores. É possível salientar ainda a especificidade da deposição de calcite, juntamente com o quartzo, formando veios de calcite e quartzo.



Após todos os estudos realizados, pode concluir-se que a mineralização presente no Sítio da Coitadinha, corresponde a uma mineralização epitermal de Sb (Au).

## **Palavras-Chave**

antimónio, chumbo, ouro, mineralizações, Sítio da Coitadinha

## ***Abstract***

The theme of this work is "Mineralizations of Antimony in Trás-os-Montes - the case of mine study "Sítio da Coitadinha"" and its main objective is to study these mineralizations, using transmitted light microscopy, reflected light microscopy, micro-Raman spectroscopy and scanning electron microscopy.

These techniques allowed the study of this mineralization that occurs associated with metasedimentary rocks, particularly phyllites. They also allowed the identification of metallic minerals such as arsenopyrite, pyrite, gold, chalcopyrite, sphalerite, galena, stibnite, bertierite, calcostibite and Sb oxides; and non-metallic such as quartz, calcite and chlorite as well as its mode of occurrence.

Various stages of deposition were considered: the first stage is characterized by a euhedral quartz with a comb structure, followed by mosaic quartz; arsenopyrite was the first sulfide deposited and finally, deposited the gold and pyrite I.

Next, we found chalcopyrite and sphalerite crystals, but due to its scarcity in the samples, we cannot be sure about its order of deposition. However, the characteristics suggested that these minerals deposited after the previous described association. A second deposition of sulfides is indicated by the presence of galena, only detected in tiny inclusions in the stibnite, and the presence of a second generation of arsenopyrite and pyrite.

The berthierite and stibnite have filled fractures of the previously deposited sulfides. The calcostibite appears just after these ones.

It occurred recrystallization of chlorite present in the host rock which now surrounds the arsenopyrite and pyrite.

Thereafter, carbonates were deposited, but it doesn't show any depositional relation with the other minerals.

After these events, the Sb oxides such as cervantite and senarmontite, formed due to supergene alteration.

The samples studied reveals a simple mineralogy that consists essentially of quartz, stibnite and bertierite, which leads to admit a deposition in low temperature environments. However, the presence of minerals such as pyrite and arsenopyrite, show a highest temperature events, proving the existence of different periods of mineralizing fluids. It is possible to emphasize the specificity of fluids deposited calcite, together with quartz, forming veins of calcite and quartz.

After all studies, it can be concluded that the mineralization present at the Sítio da Coitadinha corresponds to an epithermal Sb (Au) mineralization.

### ***Key-Words***

Antimony, lead, gold, mineralizations, Sítio da Coitadinha

## Índice

Agradecimentos .....	V
Resumo.....	VII
Palavras-Chave.....	VIII
Abstract.....	IX
Índice .....	11
Índice de Figuras.....	13
Abreviaturas de elementos.....	17
Abreviaturas de minerais .....	17
Objetivos .....	24
Material .....	39
Métodos .....	39
→Lupa Binocular .....	39
→Microscópio Ótico de Luz Transmitida.....	40
→Microscópio Ótico de Luz Refletida .....	40
→Micro-Espectroscopia Raman .....	41
→Microscopia Eletrónica de Varrimento .....	42
Resultados .....	45
→Rocha encaixante .....	45
→Estruturas mineralizadas.....	49
1) Minerais Não Metálicos.....	50
a. Quartzo .....	50
b. Clorite.....	51
a. Calcite .....	52
2) Minerais Metálicos .....	52
a. Arsenopirite I e II.....	52
b. Ouro Nativo.....	54
c. Pirite I e II.....	55

d. Calcopirite .....	56
e. Esfalerite .....	57
f. Galena .....	59
g. Estibina .....	59
h. Bertierite.....	60
i. Calcostibite .....	61
j. Óxidos de Sb.....	62
Discussão.....	64
Conclusões .....	69
Referências Bibliográficas .....	73

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> - Antimónio assinalado com um círculo roxo; “Critical raw materials for the EU” Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials.....	21
<b>Figura 2</b> - Concelhos do Distrito de Bragança com destaque para Macedo de Cavaleiros, onde se encontra a mina “Sítio da Coitadinha”, círculo de cor roxa (Instituto Geológico e Mineiro – Edição Especial 1999 Portugal – Região Norte). ....	27
<b>Figura 3</b> - (a) – localização da ZGTM no Maciço Ibérico; (b) – localização do distrito de Bragança no mapa de Portugal continental; (c) – mapa geológico simplificado do NE português (adaptado de Noronha <i>et al.</i> , 1998). ....	29
<b>Figura 4</b> - Localização dos terrenos Alóctones na ZGTM; extraído da Carta Geológica de Portugal à escala 1:1000000, edição 2010, LNEG- LGM, Lisboa.....	30
<b>Figura 5</b> - Sucessão de unidades litoestratigráficas; extraído da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, Folha 7-D de Macedo de Cavaleiros (Pereira <i>et al.</i> , 2000). ....	31
<b>Figura 6</b> – (A) Esboço que resume a geometria e a cinemática dos principais sistemas de falhas. $\delta 1$ é a tensão de compressão máxima deduzida a partir dos conjugados de falha tardi-Varisca (N25° e N80°). (B) Esboço que ilustra a posição típica de veios de quartzo e/ou diques de aplito não reactivados por compressão Alpina. Extraído de <i>The Late-Variscan fracture network in N Portugal (NW Iberia): a re-evaluation</i> ; Marques, F. O., Mateus, A., Tassinari C. (2001). ....	32
<b>Figura 7</b> - Esboço cartográfico das dobras tardi-Variscas e falhas principais do NE Portugal, onde se marcam as falhas mais importantes a vermelho. Extraído de <i>The Late-Variscan fracture network in N Portugal (NW Iberia): a re-evaluation</i> ; Marques, F. O., Mateus, A., Tassinari C. (2001). ....	33
<b>Figura 8</b> – Mineralizações de Pb e Sb no excerto da carta de ocorrências de minério do NE Transmontano onde se encontra o Sítio da Coitadinha (Inverno, Carvalho, D., Parra, A., Reynaud, R., Filipe, A., Martins, L., 2010).....	34
<b>Figura 9</b> – Aspeto da escombreira do Sítio da Coitadinha.....	39
<b>Figura 10</b> - Lupa binocular ( <a href="http://www.ulbra.br/mineralogia/imagens/lab_1_1.gif">http://www.ulbra.br/mineralogia/imagens/lab_1_1.gif</a> ). ....	39
<b>Figura 11</b> – Microscópio composto de luz transmitida e refletida utilizado.....	40
<b>Figura 12</b> - Equipamento de Micro-Espectroscopia <i>Raman</i> da FCUP. ....	41
<b>Figura 13</b> - Microscópio Eletrónico de Varrimento ambiental do CEMUP. ....	42
<b>Figura 14</b> - Foliação insipiente marcada a tracejado vermelho.....	45
<b>Figura 15</b> - Observação da rocha “encaixante” ao microscópio óptico. Nicóis paralelos.....	45
<b>Figura 16</b> - Observação da rocha “encaixante” ao microscópio ótico. Nicóis cruzados.....	45
<b>Figura 17</b> - Filonetes de quartzo que se encontram a cortar a rocha encaixante. Nicóis paralelos. ....	46

<b>Figura 18</b> - Filonetes de quartzo que se encontram a cortar a rocha encaixante. Nicóis cruzados. ....	46
<b>Figura 19</b> - Filonete de quartzo e calcite, em nicóis paralelos. ....	46
<b>Figura 20</b> - Filonete de quartzo e calcite, em nicóis cruzados. ....	46
<b>Figura 21</b> – Amostra de “brecha” .....	47
<b>Figura 22</b> - Fraturas preenchidas por quartzo. ....	47
<b>Figura 23</b> - Quartzo em forma de pente rodeado por minérios, em nicóis paralelos. ....	47
<b>Figura 24</b> - Quartzo em pente rodeado por minérios, em nicóis cruzados. ....	47
<b>Figura 25</b> - Imagem SEM da rocha encaixante. ....	48
<b>Figura 26</b> - Espectro EDS do rútilo da zona Z3. ....	48
<b>Figura 27</b> - Espectros Raman característicos do rútilo obtidos na rocha encaixante. ....	48
<b>Figura 28</b> - Espectro EDS da apatite da zona Z5. ....	49
<b>Figura 29</b> - Espectro EDS da mica branca da figura 24 (Z6). ....	49
<b>Figura 30</b> - Espectro EDS da mica com Fe e Mg da figura 24 (Z4). ....	49
<b>Figura 31</b> - Aspeto do quartzo em mosaico, em nicóis paralelos. ....	50
<b>Figura 32</b> - Aspeto do quartzo em mosaico, em nicóis cruzados. ....	50
<b>Figura 33</b> - “Ilhas” de quartzo de pequenas dimensões, em nicóis paralelos. ....	50
<b>Figura 34</b> - “Ilhas” de quartzo de pequenas dimensões, em nicóis cruzados. ....	50
<b>Figura 35</b> - Clorite rodeando os minerais opacos, em nicóis paralelos. ....	51
<b>Figura 36</b> - Clorite rodeando os minerais opacos, em nicóis cruzados. ....	51
<b>Figura 37</b> - Clorite a rodear os minerais opacos (Z1). Microscopia Eletrónica de Varrimento. ....	51
<b>Figura 38</b> - Espectro EDS da clorite observada em Z1. ....	51
<b>Figura 39</b> - Clorite vermicular, em nicóis paralelos. ....	51
<b>Figura 40</b> - Clorite vermicular, em nicóis cruzados. ....	51
<b>Figura 41</b> - Carbonatos, em nicóis paralelos. ....	52
<b>Figura 42</b> - Carbonatos, em nicóis cruzados. ....	52
<b>Figura 43</b> - Espetro Raman da calcite obtido nos carbonatos estudados. ....	52
<b>Figura 44</b> - Arsenopirite I depositada diretamente no quartzo em pente. ....	53
<b>Figura 45</b> - Arsenopirite II (Apy) associada à pirite I (Py), em microscopia de reflexão. ....	53
<b>Figura 46</b> - Associação mineral; figura obtida no MEV. ....	54
<b>Figura 47</b> - Espectro EDS da arsenopirite observada na zona Z3. ....	54
<b>Figura 48</b> - Imagem SEM de um grão de ouro (Z9) incluído na Pirite I (Z7). ....	54
<b>Figura 49</b> - Espectro EDS do grão de ouro observado na figura 47. ....	54
<b>Figura 50</b> - Grandes massas de pirite I (Py I) associadas à arsenopirite (Apy I), em microscopia de reflexão. ....	55
<b>Figura 51</b> - Pirite II, subédrica a anédrica, associada a arsenopirite I. ....	55

<b>Figura 52</b> - Composição elementar da pirite analisada na figura 46. ....	55
<b>Figura 53</b> - Cristal de Calcopirite, em microscopia óptica de reflexão. ....	56
<b>Figura 54</b> - Z7 – Calcopirite associada ao quartzo em pente e à bertierite. ....	56
<b>Figura 55</b> - Z8 – Calcopirite associada ao quartzo em pente. Microscopia Eletrónica de Varrimento. ....	56
<b>Figura 56</b> - Espectro EDS da calcopirite da zona Z7. ....	57
<b>Figura 57</b> - Espectro EDS da calcopirite da zona Z8. ....	57
<b>Figura 58</b> – Esfalerite, em microscopia de transmissão. ....	57
<b>Figura 59</b> – Esfalerite associada ao quartzo em mosaico (Qz II), em microscopia de reflexão. ....	57
<b>Figura 60</b> - Esfalerite (Sp) depositada após a pirite (Py) e antes da estibina (Stbn). ....	57
<b>Figura 61</b> - Espectro Raman obtido nas esfalerites estudadas. ....	58
<b>Figura 62</b> - Cristal de esfalerite (Z1), analisado no MEV. ....	58
<b>Figura 63</b> - Cristal de esfalerite (Z11), analisado no MEV. ....	58
<b>Figura 64</b> - Espectro de EDS obtido na esfalerite da imagem 61. ....	58
<b>Figura 65</b> - Espectro de EDS obtido na esfalerite da imagem 62. ....	58
<b>Figura 66</b> - Galena (Z1) inclusa na estibina (Z2). ....	59
<b>Figura 67</b> - Espectro de EDS da zona Z1 correspondente à galena. ....	59
<b>Figura 68</b> - Estibina (Stbn) depositada em quartzo (Qz). ....	59
<b>Figura 69</b> - Espectro de quatro estibinas obtido por espectroscopia micro- <i>Raman</i> . ....	60
<b>Figura 70</b> – Espectro EDS da estibina da figura 66. ....	60
<b>Figura 71</b> - Espectro de EDS correspondente à estibina da figura 46. ....	60
<b>Figura 72</b> - Bertierite (Brt) a preencher espaços existentes. ....	61
<b>Figura 73</b> - Análise do cristal de bertierite da figura anterior por EDS ....	61
<b>Figura 74</b> - Bertierite (Z1) em microscopia de reflexão. ....	61
<b>Figura 75</b> - Espectro EDS da bertierite da figura anterior. ....	61
<b>Figura 76</b> - Calcostibite (Z9), obtida no MEV. ....	61
<b>Figura 77</b> - Espectro EDS obtido na calcostibite (Z9). ....	61
<b>Figura 78</b> - Legenda: Z10 – Cervantite a preencher a fratura de uma bertierite. ....	62
<b>Figura 79</b> - Z6 – Bertierite a ser alterada para cervantite. Microscopia Eletrónica de Varrimento. ....	62
<b>Figura 80</b> - Espectro EDS da cervantite da figura 77. ....	62
<b>Figura 81</b> - Associação entre arsenopirite, pirite e senarmontite (Snm), em microscopia de reflexão. ....	63
<b>Figura 82</b> - Espectro <i>Raman</i> obtido nos referidos óxidos de Sb permitindo a identificação da senarmontite. ....	63
<b>Quadro I</b> - Minerais dos diferentes estádios de deposição do Sítio da Coitadinha. ....	65





## Abreviaturas

<b>CAI</b>	Complexo Alóctone Inferior
<b>CVS</b>	Complexo Vulcano-Silicioso
<b>CXG</b>	Complexo Xisto-Grauváquico
<b>EDS</b>	Espectroscopia de Energia Dispersiva
<b>MEV</b>	Microscópio Eletrónico de Varrimento
<b>MT</b>	Microscopia de Transmissão
<b>MR</b>	Microscopia de Reflexão
<b>MRS</b>	Micro-Espectroscopia Raman
<b>UE</b>	União Europeia
<b>ZC</b>	Zona Cantábrica
<b>ZCI</b>	Zona Centro-Ibérica
<b>ZGTM</b>	Zona Galiza Trás-os-Montes
<b>ZOM</b>	Zona Ossa-Morena

## Abreviaturas de elementos

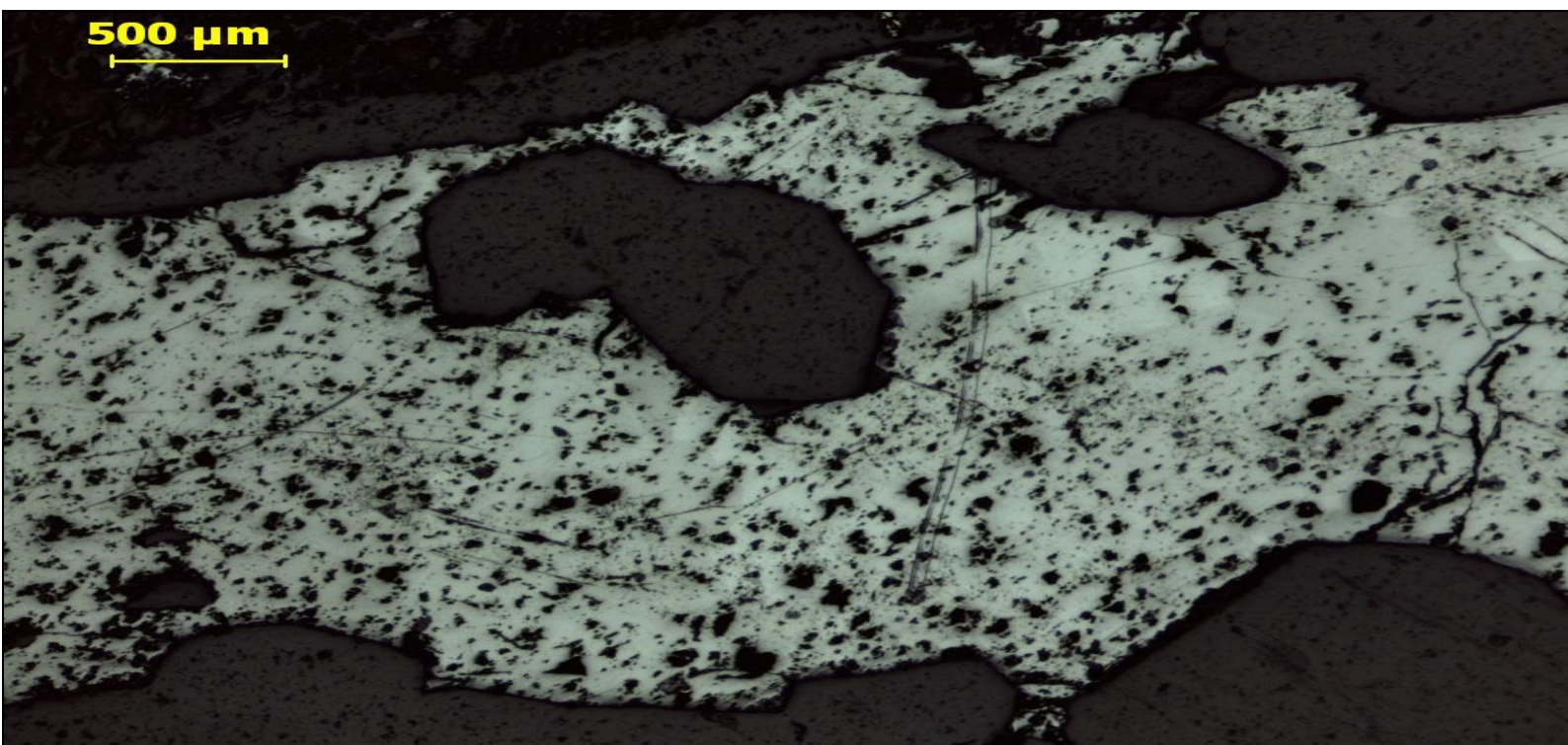
<b>Ag</b>	Prata	<b>Mg</b>	Magnésio
<b>Al</b>	Alúminio	<b>O</b>	Óxigénio
<b>As</b>	Arsénio	<b>P</b>	Fósforo
<b>Au</b>	Ouro	<b>Pb</b>	Chumbo
<b>Ca</b>	Cálcio	<b>S</b>	Enxofre
<b>Cu</b>	Cobre	<b>Sb</b>	Antimónio
<b>F</b>	Flúor	<b>Si</b>	Sílica
<b>Fe</b>	Ferro	<b>Ti</b>	Titânio
<b>K</b>	Potássio	<b>Zn</b>	Zinco

## Abreviaturas de minerais

<b>Apy</b>	Arsenopirite
<b>Brt</b>	Bertierite
<b>Py</b>	Pirite
<b>Qz</b>	Quartzo
<b>Snmt</b>	Senarmontite
<b>Sp</b>	Esfalerite
<b>Stbn</b>	Estibina

De acordo com Whitney & Evans (2010)





Estibina da mina do Sítio da Coitadinha, ao microscópio ótico de luz refletida.

# Introdução e Objetivos



## Introdução

As mineralizações de antimónio (Sb) do NE português nunca tiveram grande importância no panorama nacional, mesmo na sua maior e mais ativa fase de mineração. Apesar disso, existiram já algumas minas tendo em vista a recuperação deste metal.

O Sb é um metal e ocorre, principalmente, na forma de estibina ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), em grandes quantidades em países como a China, África do Sul, México, Bolívia e também no Chile. A sua utilização faz-se principalmente em ligas metálicas e também em semicondutores.

Para a União Europeia (UE) é considerado um metal crítico. O seu risco de fornecimento e o seu valor económico são duas variáveis dependentes que fazem estas matérias-primas serem rotuladas como "críticas". Os seus impactos na economia são mais elevados em comparação com a maioria das outras matérias-primas.

Dois tipos de riscos são considerados:

a) "risco de oferta", tendo em conta a estabilidade político-económica dos países produtores, o nível de concentração da produção e a taxa de reciclagem;

b) o "risco ambiental do país" que avalia os riscos de que medidas possam ser tomadas pelos países com desempenho ambiental, a fim de proteger o ambiente e, ao fazê-lo, pôr em risco o fornecimento destas matérias-primas para a UE.

Na figura 1, encontram-se os materiais críticos com elevada importância económica e elevado risco de fornecimento. O antimónio, embora não seja dos metais mais cotados no mercado internacional, apresenta um risco de fornecimento considerável, sendo por essa razão considerado um metal crítico.

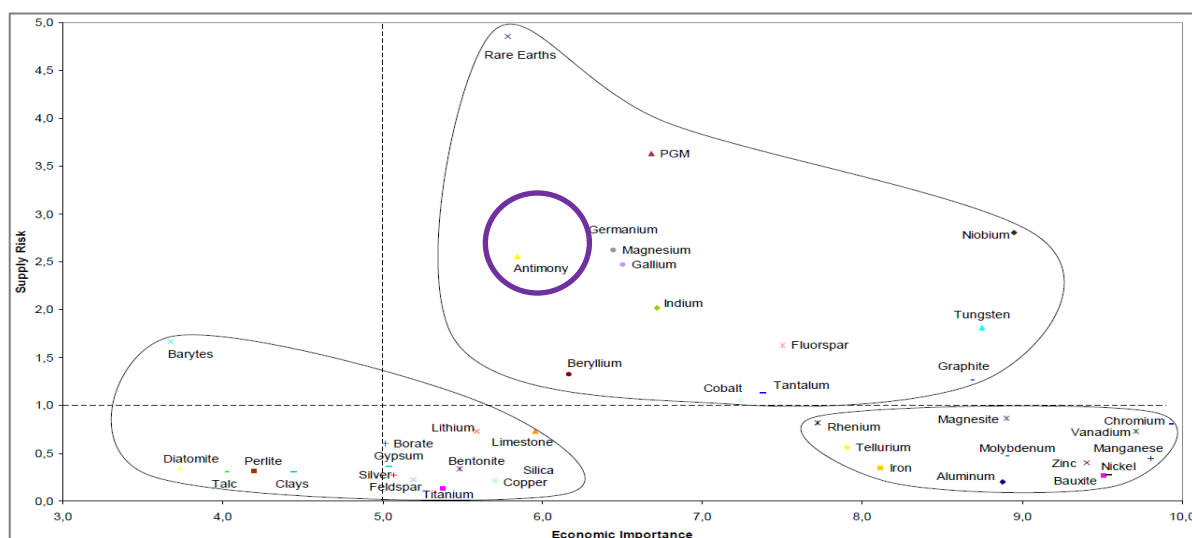


Figura 1 - Projeção dos materiais identificados como critical raw materials ([http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm)); Antimónio assinalado com um círculo roxo.

Há referências específicas à ocorrência de mineralizações de antimónio no NE Transmontano e mais especificamente relativas à mina do Sítio da Coitadinha, Vale Benfeito, situada no concelho de Macedo de Cavaleiros, distrito de Bragança. Segundo o LNEG, esta mina é caracterizada por possuir mineralizações de antimónio e chumbo tendo aí sido exploradas 4,4 toneladas de estibina.

Gumiel & Arribas (1987), a respeito das ocorrências de antimónio (Sb) na Península Ibérica enquadram-nas nos seguintes tipos morfológicos:

### 1. Depósitos em veios

A maioria ocorre em sistemas filonianos de pequena extensão. Os veios normalmente possuem um aspeto lenticular e apresentam frequentemente uma estrutura denominada de “*Pinch-and-swell*”. A estibina ocorre em cavidades irregulares. Apesar de não haver qualquer controlo litológico dos veios, estes encaixam-se em rochas metassedimentares;

### 2. Depósitos Estratiformes

Estes depósitos de antimónio ocorrem em calcários ou xistos, bem como em certas camadas siliciosas. Muitos dos depósitos deste tipo encontram-se associados a brechas, sendo litoestratigraficamente e estruturalmente muito controlados. Nestes corpos mineralizados podem desenvolver veios discordantes devido à remobilização nas fraturas;

### 3. Depósitos de antimónio em diques vulcânicos

Estes depósitos encontram-se associados a diques riodacíticos relacionados com o vulcanismo pós-orogénico. A mineralização ocorre tanto nos diques como nas rochas encaixantes.

As principais ocorrências de minérios de Sb ocorrem associadas a mineralizações de Au nomeadamente na região de Valongo, sendo as mais importantes devido ao volume de mineralizações exploradas. Têm sido relacionadas com granitos biotíticos tardi-tectónicos, não se excluindo, porém, a possibilidade de remobilizações de Sb e Au a partir de metassedimentos (Ferreira, 1971; Couto *et al.*, 1990). Schermerhorn (1981), considera as mineralizações de Au e de Sb (Au) como tendo uma idade autuniana. Portugal Ferreira (1971) refere, a respeito destas mineralizações, que correspondem a jazigos do tipo filoniano, em situação perigranítica longínqua. O binário granito-metassedimentos é indispensável à existência de jazigos, porém devem realçar-se outros factos que parecem ser comuns aos sectores de maior ocorrência de jazigos, nomeadamente as séries metassedimentares conterem níveis de vulcanitos, de rochas calcossilicatadas e mais raramente de calcários (Thadeu, 1977).

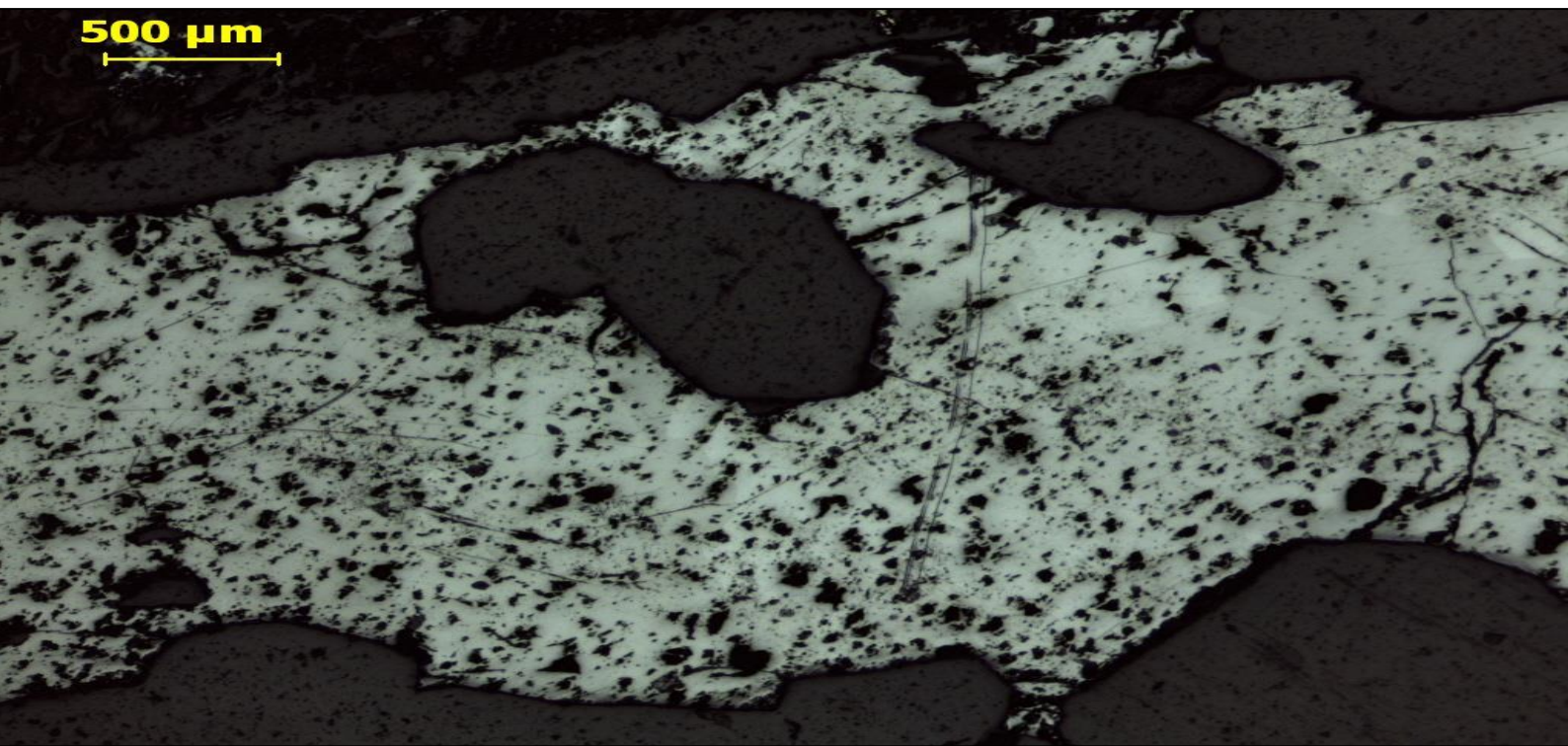
Os modelos propostos para a origem das mineralizações têm sido vários, porém Almeida & Noronha (1988), relativamente à origem dos fluidos mineralizantes, são a favor da hipótese de que estes seriam fluidos residuais de diferenciação magmática, não excluindo a possibilidade de uma mobilização dos elementos metálicos por grandes circuitos de índole convetiva.

As causas principais para a deposição dos minérios são mecanismos de precipitação que não são só devidos à simples diminuição de temperatura (T) e pressão (P). A miscibilidade e imiscibilidade de fluidos e as reações químicas entre fluidos e rochas tem um papel importante (Noronha *et. al.* 2013).



## Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo estudar mineralizações de Sb (Au), do Nordeste Transmontano, neste caso, a antiga mina do “Sítio da Coitadinha”, contribuindo com o estudo da mineralogia em lâminas e superfícies polidas recorrendo à microscopia de luz transmitida, microscopia de luz refletida, micro-espectroscopia *Raman* e microscopia eletrónica de varrimento.

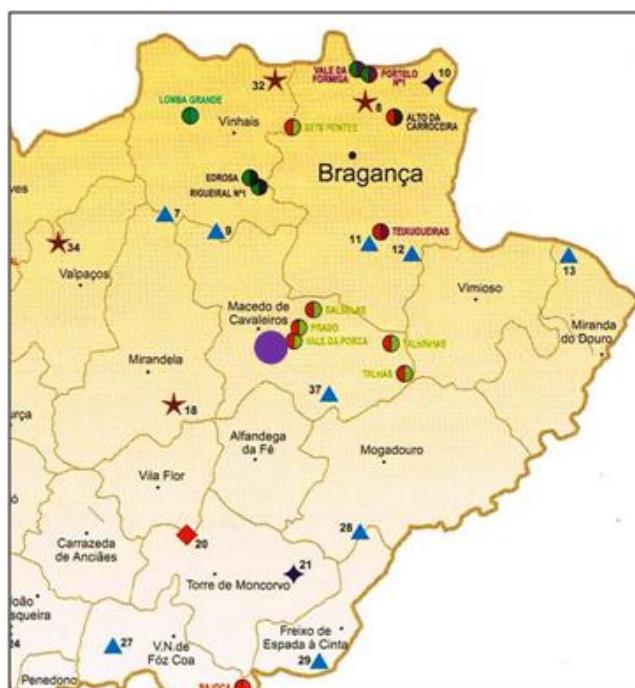


# **A mina do Sítio da Coitadinha**



## Localização Geográfica

O distrito de Bragança, com 6608 km<sup>2</sup> de área, encontra-se na região Norte do país e na sub-região de Trás-os-Montes. Pertencem ao distrito de Bragança, os concelhos de Alfândega da Fé, Bragança, Carrazeda de Ansiães, Freixo de Espada à Cinta, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Torre de Moncorvo, Vila Flor, Vimioso e Vinhais. Pertence ainda, ao mesmo distrito, o concelho Macedo de Cavaleiros, onde se encontra a mina de antimónio e chumbo de nome “Sítio da Coitadinha” (Figura 2).



**Figura 2 - Concelhos do Distrito de Bragança com destaque para Macedo de Cavaleiros, onde se encontra a mina "Sítio da Coitadinha", círculo de cor roxa (Instituto Geológico e Mineiro – Edição Especial 1999 Portugal – Região Norte).**

## Geologia

A mina Sítio da Coitadinha encontra-se localizada na zona Galiza Trás-os-Montes (ZGTM). A ZGTM localiza-se no noroeste da Península Ibérica (Figura 3), sendo considerada como zona tectonoestratigráfica por Farias *et al.* (1987). A sua principal característica é a sobreposição de unidades estruturais (mantos), separadas por carreamentos (Arenas *et al.*, 1988; Ribeiro *et al.*, 1990).

Segundo Iglésias *et al.* (1983) e Ribeiro *et al.* (1990), a ZGTM corresponde a um conjunto de mantos de carreamento que no seu conjunto definem quatro grandes unidades, denominadas da base para o topo: o Complexo Parautóctone, o Complexo Alóctone Inferior, o Complexo Ofiolítico e o Complexo Alóctone Superior.

O limite da ZGTM é marcado por um carreamento maior, que faz com que se sobreponham unidades alóctones e parautóctones às unidades autóctones da Zona Centro Ibérica (ZCI).

Uma das características marcantes da ZGTM e da ZCI, é a existência de um importante magmatismo orogénico varisco, associado a zonas de médio a alto grau de metamorfismo (Martinez *et al.*, 1988; Ugidos, 1990). Este paralelismo e simultaneidade de processos magmáticos e metamórficos, significam que os magmas graníticos tiveram um papel importante na evolução do orógeno.

No magmatismo granítico orogénico são considerados dois grupos principais de granitoides. No primeiro grupo inserem-se os granitos peraluminosos de duas micas com moscovite dominante que foram gerados por anatexia húmida na crosta média. No segundo podemos encontrar os granitoides biotíticos com plagioclase cálcica, tendo estes uma origem basicrustal, com uma fácies que pode variar desde os tonalitos e granodioritos até granitos biotíticos ou mesmo leucogranitos (Ferreira *et al.*, 1987).

Especialmente os dois grupos de granitoides ocorrem de forma distinta. Os granitos do primeiro grupo observam-se em estreita associação com terrenos metamórficos, isto deve-se ao facto de estes serem simultâneos à fase de dobramento D<sub>3</sub> varisca. Os granitos peraluminosos estão associados às zonas de cisalhamento dúctil, ocorrendo segundo os alinhamentos dos núcleos das grandes antiformas desta fase de deformação. Por outro lado, os granitoides do segundo grupo ocorrem em maciços alongados ou como intrusões mais ou menos circunscritas e bastante superficiais. Os granitoides pertencentes a este grupo aproveitaram, entre outras, a intensa fracturação gerada no fim de D<sub>3</sub> para a sua instalação.

Quanto a uma classificação tectónica, a terminologia aplicada é a de granitos sintectónicos, tarditectónicos e pós-tectónicos utilizando como referência a fase D<sub>3</sub>.

Os granitos de duas micas são essencialmente sin- a tarditectónicos. Contudo, os granitoides biotíticos podem ser sintectónicos, tardi, tardi a pós-tectónicos ou pós-tectónicos (Ferreira *et al.* 1987).

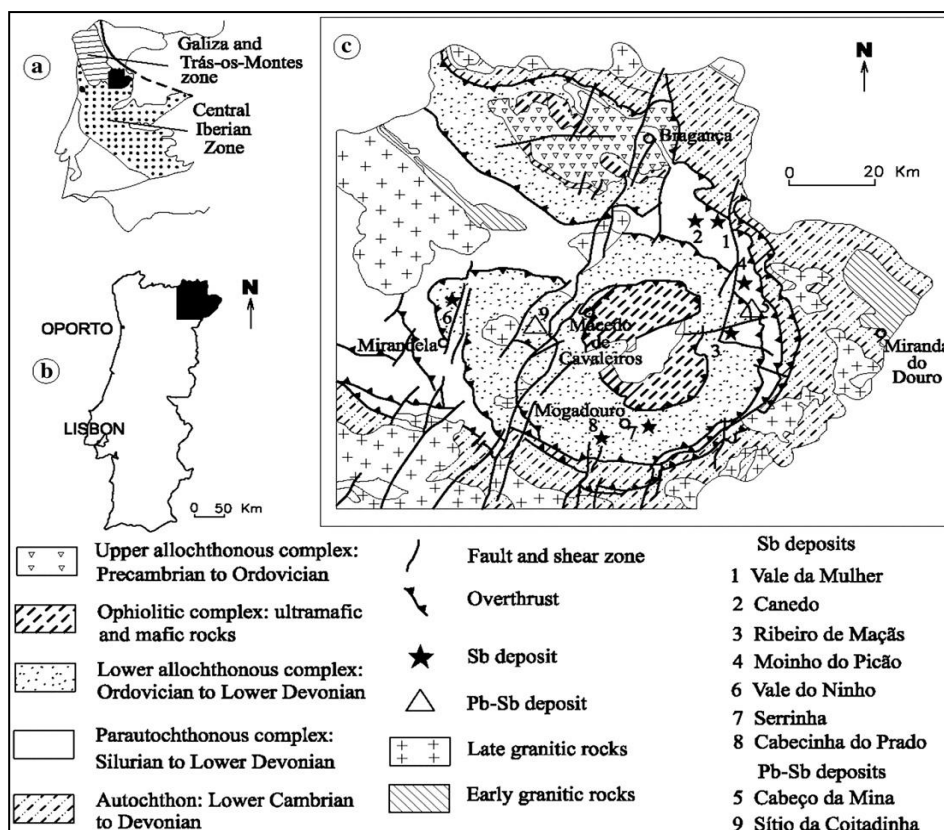
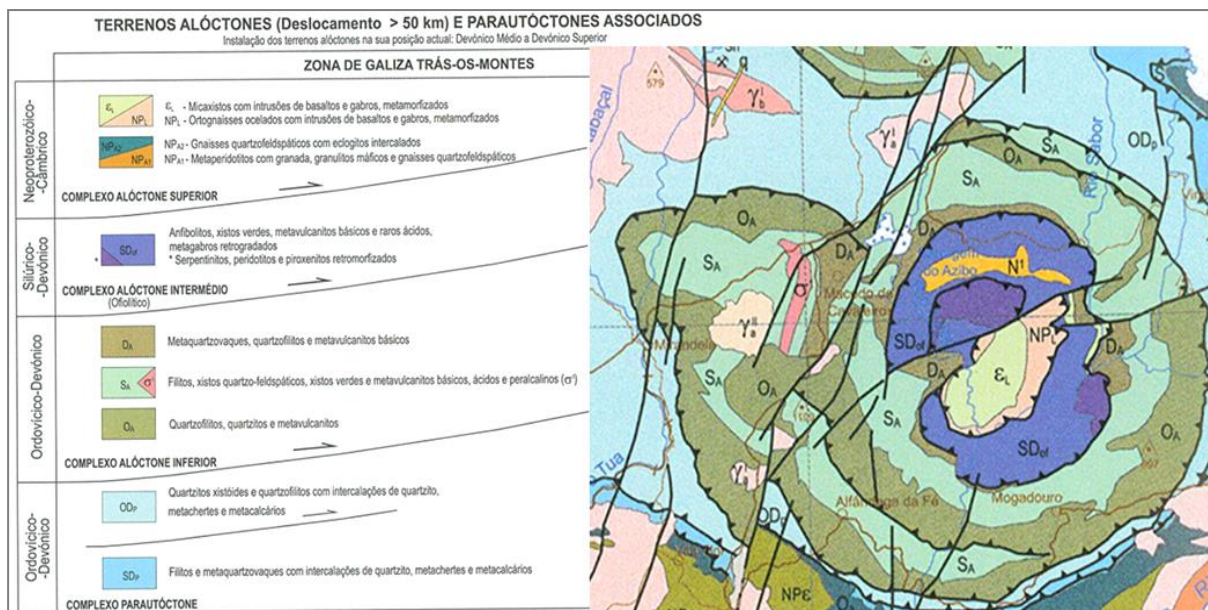


Figura 3 - (a) – localização da ZGTM no Maciço Ibérico; (b) – localização do distrito de Bragança no mapa de Portugal continental; (c) – mapa geológico simplificado do NE português (adaptado de Noronha *et al.*, 1998).

A mina do Sítio da Coitadinha, assinalada com o número 9 na figura 3, situa-se no Complexo Alóctone Inferior (CAI), mais propriamente na Formação de Macedo de Cavaleiros (Figura 4) e é constituída por formações metassedimentares, de idade compreendida entre o Ordovícico superior e o Devónico inferior (Ribeiro & Pereira, 1990).

O CAI, sobrepõe-se ao Complexo Parautóctone, por um carreamento de base. A sequência estratigráfica e os episódios vulcânicos registados nesta unidade não são de modo algum comparáveis com o autóctone ou parautóctone da ZCI, mas podem comparar-se com os do autóctone da Zona Ossa Morena (ZOM) (Ribeiro *et al.* 1990; Marques *et al.* 1992).



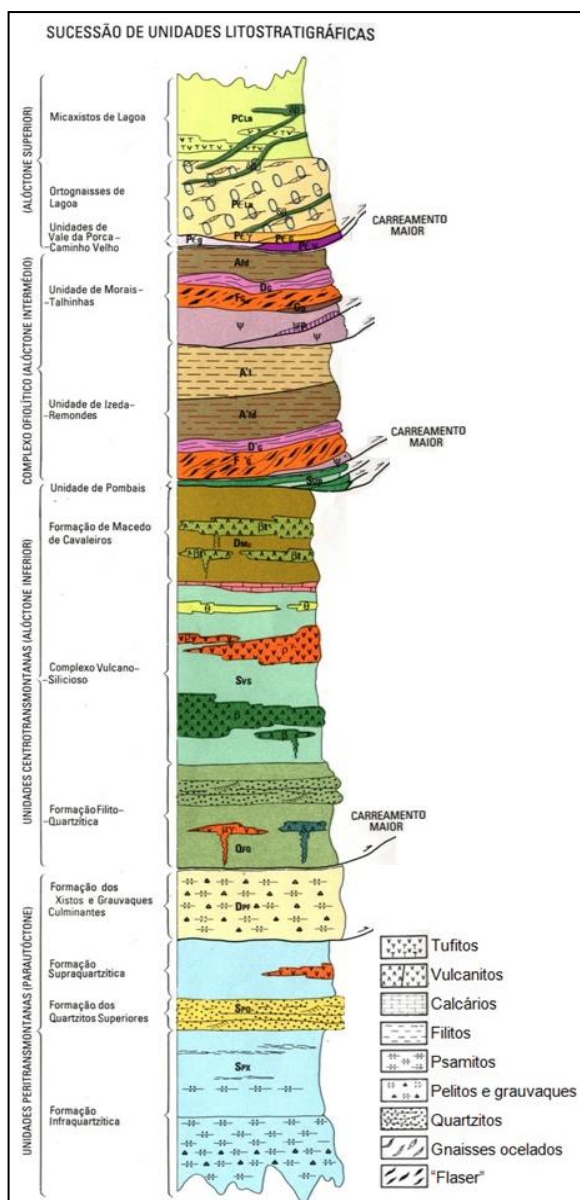


**Figura 4 - Localização dos terrenos Alóctones na ZGTM; extraído da Carta Geológica de Portugal à escala 1:1000000, edição 2010, LNEG- LGM, Lisboa.**

O CAI distingue-se das unidades parautoctones subjacentes, pois evidencia relíquias de paragénese mineral, próprias de metamorfismo de alta pressão. A existência de magmatismo pré-orogénico, que inclui riólitos peralcalinos e granitos (Floor, 1966; Ribeiro, M.L., 1976; Munhá *et al.*, 1984; Ribeiro, M.L., 1986, 1991), reforça a ideia da presença de uma *nappe* distinta das sequências inferiores.

O vulcanismo encontra-se intercalado com metassedimentos e mostra evolução temporal do magmatismo peralcalino ou alcalino transicional até um magmatismo toleítico tipo MORB (Ribeiro, 1991). Verifica-se ainda a ocorrência de um episódio de metamorfismo de alta pressão ( fácies dos xistos azuis), ao qual se sobrepôs um metamorfismo nas fácies dos xistos verdes e/ou anfibolítica (Munhá *et al.*, 1984; Gil Ibarguchi & Arenas, 1991).

Na sucessão geral do Complexo Alóctone Inferior, encontram-se as unidades Centro-transmontanas, denominadas da base para o topo: Gnaisses Ocelados de Saldanha, Formação Filito-Quartzítica, Complexo Vulcano-Silicioso (CVS) e a Formação de Macedo de Cavaleiros. É visível ainda, no topo desta sequência, uma unidade que não pertence às unidades Centro-transmontanas, denominada Unidade de Pombais (figura 5).



**Figura 5 - Sucessão de unidades litoestratigráficas; extraído da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, Folha 7-D de Macedo de Cavaleiros (Pereira et al., 2000).**

Segundo a notícia explicativa da Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200000, a Formação de Macedo de Cavaleiros compreende da base para o topo: filitos escuros de tom cinza e violeta, com intercalações de xistos negros e siltitos; sucedem-se tufitos esverdeados e ocorrem raras manifestações de vulcanitos ácidos e intercalações de dois níveis de lavas básicas, sendo o inferior lenticular e o superior contínuo e espesso; por fim, sobrepõem-se filitos. Intrusões de metadiabases e metagabros, equivalentes intrusivos a lavas básicas, que se encontram bem representados nas imediações do Vale Benfeito (*Ribeiro, 1986*).

Na transição para a unidade infrajacente ocorrem, por vezes, jaspes, liditos e calcários negros recristalizados que ocupam os níveis mais altos do CVS.

A estruturação da cadeia Varisca resultou da sucessão de três fases de deformação:  $D_1$ ,  $D_2$  e  $D_3$ . A fase  $D_1$  gerou dobras com orientações e vergências diferentes, consoante se trate de terrenos alóctones, parautóctones ou autóctones, mas com uma orientação predominante NW-SE. A fase  $D_2$  representada sobretudo no alóctone e no parautóctone, decorre da fase  $D_1$ , com formação de dobras deitadas com flanco inverso muito curto. A fase  $D_3$  abrangeu todos os terrenos de modo idêntico, originando dobramento largo e de pequena amplitude, de plano axial vertical. Simultaneamente, com o dobramento da fase  $D_3$  desenvolveram-se zonas de cisalhamento dúctil, verticais. No período tardi- e pós- $D_3$ , ocorreu deformação dúctil-frágil e frágil e na sua dependência desenvolveram-se sistemas conjugados de fraturas: o principal com direção NNE-SSW e o conjugado com direção NNW-SSE (*Ribeiro, 1974; Noronha et al, 1979; Dias & Ribeiro, 1995; Noronha et al, 2013*).



Arthaud & Matte (1975) reconheceram três principais sistemas de falhas desligantes tardi-Variscas na Ibéria: NE-SW a NNE-SSW (esquerda) e uma subordinada NW-SE a NNW –SSE (tardi-Varisca dextra) e E-W a ENE-WSW (esquerda). A partir desta geometria e cinemática, concluíram que uma tensão de compressão N-S foi responsável pelo desenvolvimento da totalidade da rede de fraturas na Península Ibérica. Ribeiro (1974), Ribeiro *et al.* (1979), e Pereira *et al.* (1984, 1993) definiram dois episódios principais de formação de falhas no norte de Portugal:

- sistemas de falhas Varisca conjugadas, tendo em média N80° (esquerda) e N25° (direita), contemporâneas da fase D<sub>3</sub>;
- sistema de falhas tardi-Varisca - um sistema N135° com desligamento direito conjugado a uma família N25° esquerdo, de idade Pérmica.

A rede de falhas no centro-norte de Portugal, especialmente o sistema de falhas com direção média N25°, como é o caso da falha da Vilariça, tem sido usado para ajudar a deduzir a dinâmica Paleozoica da Europa Ocidental.

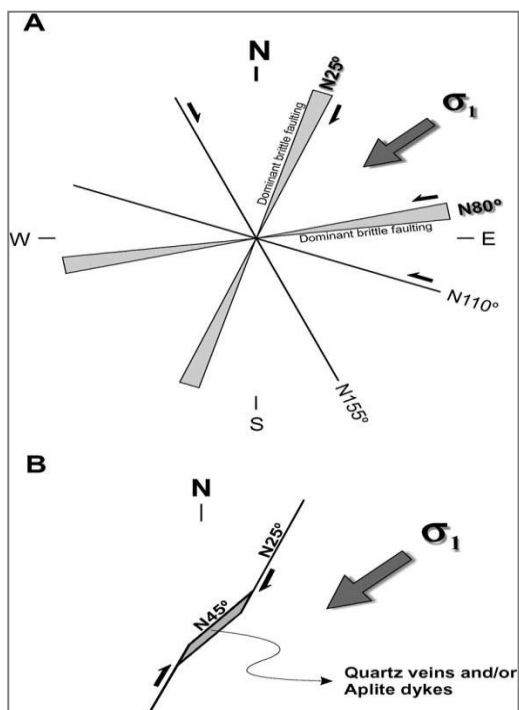


Figura 6 – (A) Esboço que resume a geometria e a cinemática dos principais sistemas de falhas.  $\sigma_1$  é a tensão de compressão máxima deduzida a partir dos conjugados de falha tardi-Varisca (N25° e N80°). (B) Esboço que ilustra a posição típica de veios de quartzo e/ou diques de aplito não reactivados por compressão Alpina. Extraído de *The Late-Variscan fracture network in N Portugal (NW Iberia): a re-evaluation*; Marques, F. O., Mateus, A., Tassinari C. (2001).

Marques *et al.* (2002) datam veios com direção N45° dextros do sistema de falhas N25° pois são menos propícios à reativação pela compressão NNW-SSE Alpina, podendo assim, preservar o registo Varisco (figura 6B). A falha de direção N80° no centro-norte de Portugal é esquerda e profunda, admitindo apenas uma conjugação frágil dextra, o sistema de falhas N25° (figura 6A).

Na mesma imagem, é perceptível que Marques *et al.* utilizam N25°, N80°, N155° e N110° para representar o conjunto de falhas descritas em trabalhos anteriores, respetivamente, NNE–SSW (Ribeiro, 1974), de E–W a ENE–WSW (Arthaud & Matte, 1975), NW–SE a NNW–SSE (Arthaud & Matte, 1975) e ESE–WNW (Ribeiro, 1974).

Na figura 7, as falhas 1 e 2 têm a mesma geometria, mas cinemática oposta. A falha 1 preserva a cinemática dextra tardi-Varisca, enquanto que a falha 2 tem sido fortemente reativada pela movimentação Alpina.

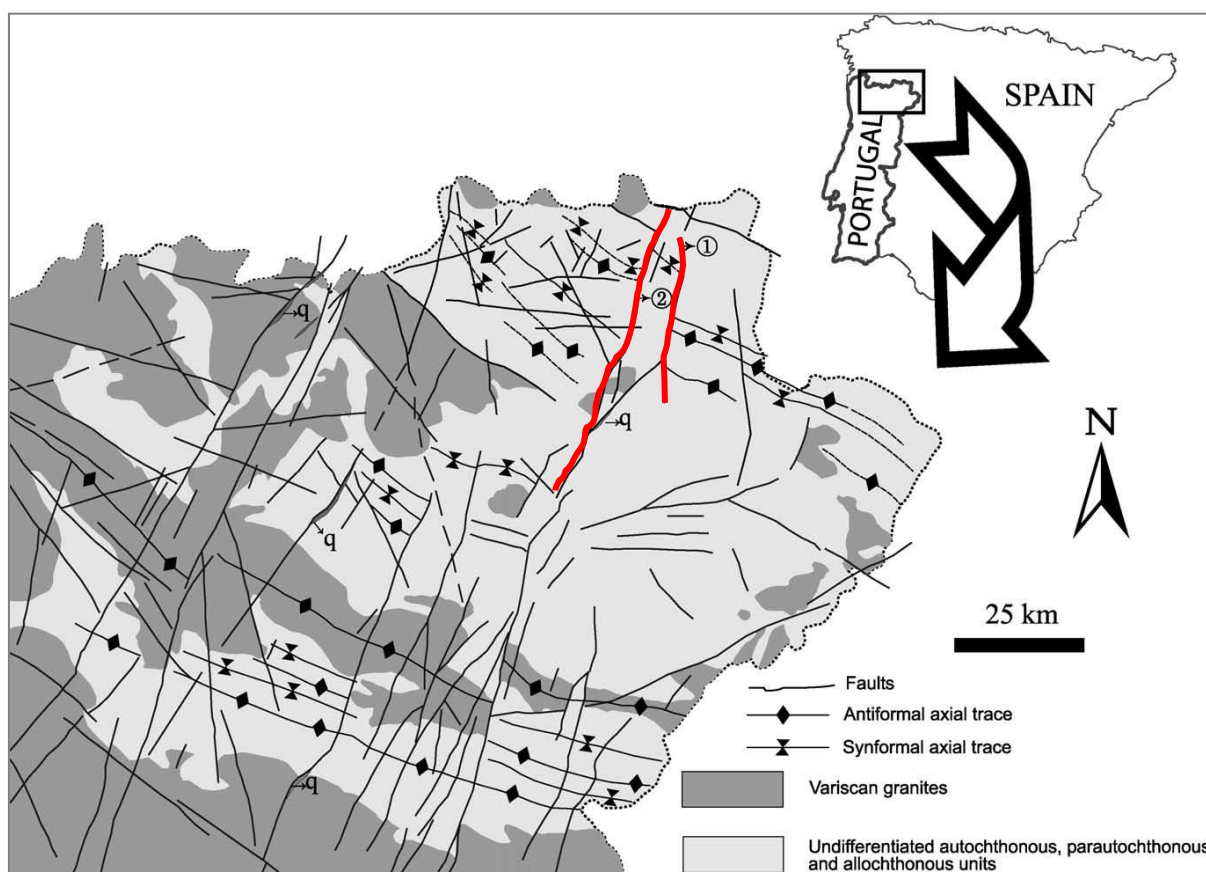


Figura 7 - Esboço cartográfico das dobras tardi-Variscas e falhas principais do NE Portugal, onde se marcam as falhas mais importantes a vermelho. Extraído de The Late-Variscan fracture network in N Portugal (NW Iberia): a re-evaluation; Marques, F. O., Mateus, A., Tassinari C. (2001).

O maior conjunto de ocorrências de filões de quartzo com mineralizações de Sb e Pb, define dois alinhamentos principais com direção subparalela à da falha da Vilariça e situados a Este desta falha (Vale da Mulher-Serrinha e Moinho do Picão-Ribeiro das Maças) (figuras 3 e 4), como é o caso das minas do Outeiro e da mina do Picão, onde ocorrem filões, stockwerks e massas silicificadas de estibina em metassedimentos paleozoicos. Um terceiro alinhamento, muito menos evidente, engloba as ocorrências do Sítio da Coitadinha, situando-se a oeste da falha. Na maior parte dos casos, as mineralizações não ocupam fraturas paralelas ao alinhamento principal, mas sim, fraturas secundárias com elas relacionadas, de orientação NE-SW (Noronha *et al.* 2006). A mineralização de Sb e Pb do Sítio da Coitadinha (Figura 8) é tardia relativamente aos quartzos que preenchem essas estruturas, pelo que as mineralizações são pós- $D_3$ . Os alinhamentos que controlam a ocorrência destas mineralizações, cortam os alinhamentos correspondentes aos antiformas de  $D_3$  que controlam a instalação dos granitos de duas micas, o que permite inferir que correspondem a períodos distintos.

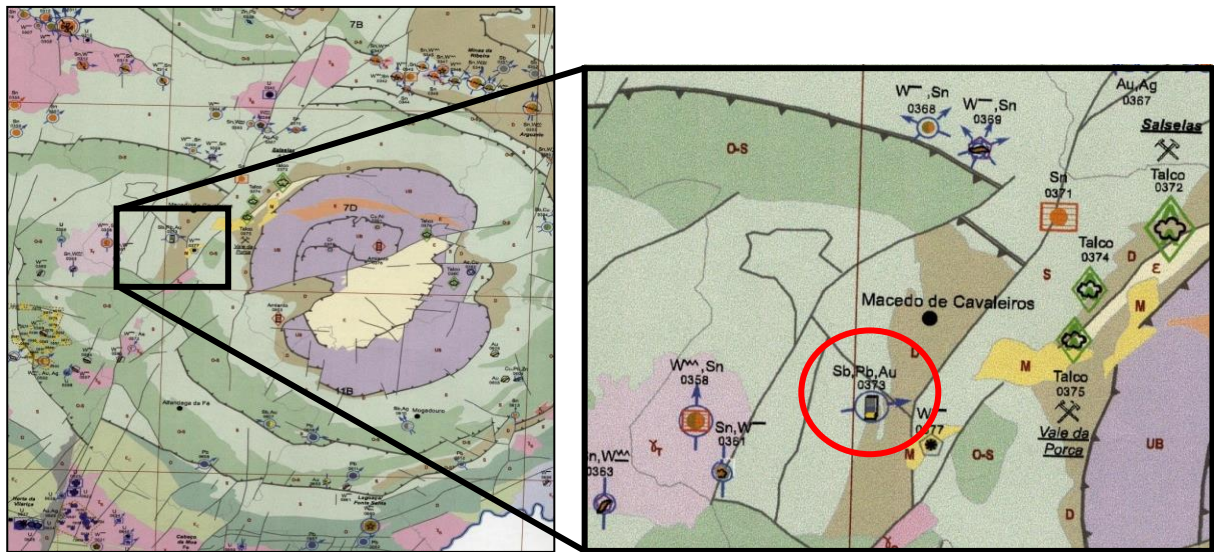


Figura 8 – Mineralizações de Pb e Sb no excerto da carta de ocorrências de minério do NE Transmontano onde se encontra o Sítio da Coitadinha (Inverno, Carvalho, D., Parra, A., Reynaud, R., Filipe, A., Martins, L., 2010)

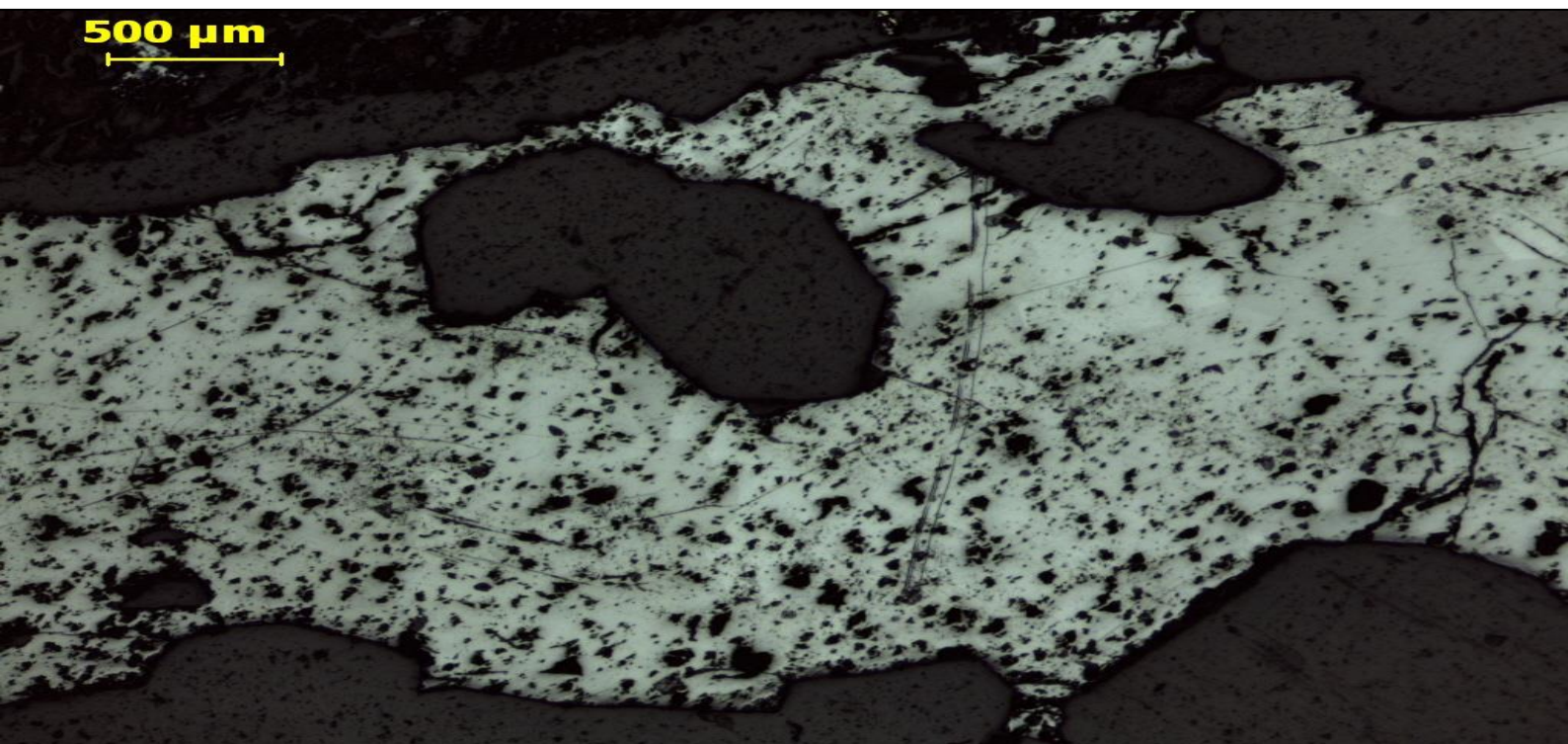
O Filão do “Sitio da Coitadinha”, segundo dados do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), é descrito como sendo um filão quartzoso mineralizado com estibina, galena e ouro, orientado N80°E e inclinado para 80°N, numa extensão de aproximadamente 100 metros. Existem ainda pequenos níveis félsicos auro-argentíferos intercalados em xistos. Segundo a notícia explicativa da Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200000 (2006), em 1944, a zona mineralizada apresentava uma espessura média de 30 cm.

## Mineralogia

A mineralogia desta mina é descrita por Neiva *et al.* (2008). Segundo estes autores, os primeiros sulfuretos a formar-se foram a arsenopirite, a pirite e pirrotite. O ouro forma-se contemporaneamente ou posteriormente à arsenopirite, sendo anterior à pirite e à pirrotite. A esfalerite ocorre a preencher fraturas nos primeiros sulfuretos, encontrando-se por vezes a substituí-los. A calcopirite apresenta inclusões de pirite e a galena é rodeada por cervantite. A boulangerite e a tetraedrite são raras e preenchem fraturas na esfalerite. Existe uma segunda geração de arsenopirite a preencher fraturas na pirite I e substituindo-a parcialmente. Esta arsenopirite contém inclusões de pirite I. A pirite II foi encontrada a substituir a arsenopirite I. A bertierite é comumente posterior a ambas as gerações de arsenopirite e pirite, pois envolve-as e substitui-as. Ocorre em veios com boulangerite onde corta sulfuretos anteriores. A estibina é o sulfureto que rodeia e penetra a bertierite. No entanto, uma geração posterior de bertierite foi encontrada contendo inclusões de estibina. Uma terceira geração de pirite foi também encontrada ocasionalmente substituindo a bertierite e a estibina. Finalmente, os carbonatos precipitam no último estágio hipogénico. Os autores constataam ainda uma fase supergénica caracterizada por meteorização, onde se terá formado a valentinite e cervantite.







## Material e Métodos



## Material

Com o objetivo de estudar as mineralizações da mina do “Sítio da Coitadinha” e o seu encaixante, foram estudadas superfícies polidas de amostras por nós colhidas diretamente da escombreira (figura 9).



Figura 9 – Aspeto da escombreira do Sítio da Coitadinha.

A partir destas amostras, foram preparadas seis lâminas delgadas polidas. Foram realizados também estudos metalográficos complementares em secções polidas elaboradas a quando da realização da notícia explicativa da Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1/200000 (2006).

## Métodos

Todas as amostras foram estudadas recorrendo a diferentes equipamentos e técnicas, existentes, não só na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP), nomeadamente a lupa binocular, o microscópio ótico de luz transmitida (MT) e luz refletida (MR), a micro-espectroscopia Raman (MRS), como no Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP), a microscopia eletrónica de varrimento (MEV).

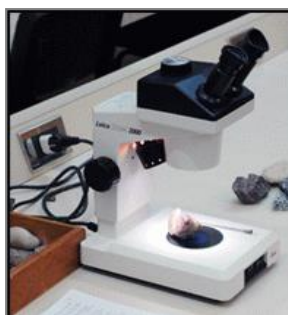


Figura 10 - Lupa binocular  
([http://www.ulbra.br/mineralogia/imagens/lab\\_1\\_1.gif](http://www.ulbra.br/mineralogia/imagens/lab_1_1.gif)).

### → Lupa Binocular

A lupa é um instrumento ótico munido de uma lente com capacidade de criar imagens ampliadas. É utilizada para observar com detalhe pequenas amostras de minerais, rochas ou qualquer outro material (figura 10).



### → **Microscópio Ótico de Luz Transmitida**

A microscopia de luz transmitida e a microscopia de luz refletida são fundamentais no estudo de rochas, minérios e minerais.

Esta é uma técnica não destrutiva que possui resolução espacial relativamente elevada, possibilitando o estudo das fases minerais, relações texturais (estrutura, associação e relações de fases), fornecendo informações importantes para o conhecimento da sua génese. Para examinar uma rocha em lâmina delgada, com resolução superior à permitida pelos olhos, é necessário utilizar o microscópio petrográfico. Para realizar um estudo correto e preciso com este equipamento, é fundamental conhecer algumas características distintivas dos minerais como por exemplo: a cor, o brilho, o hábito, a forma, o pleocroísmo, a clivagem, a birrefringência entre outros.

As limitações da microscopia de luz transmitida são óbvias quando é necessário estudar minerais opacos.

### → **Microscópio Ótico de Luz Refletida**

O microscópio ótico de luz refletida (Figura 11) é um instrumento indispensável no exame petrográfico de minerais opacos com interesse económico, considerados minérios.

Esta técnica é utilizada na caracterização de materiais opacos (analisando a superfície da amostra através da reflexão da luz) e de alguns minerais que não permitem uma análise inequívoca por microscopia de transmissão.



**Figura 11 – Microscópio composto de luz transmitida e refletida utilizado.**

Alguns dos objetivos da sua utilização passam por identificar as fases minerais e as suas texturas para que, com um conhecimento um pouco mais alargado, se consiga determinar a sequência de cristalização dos minerais existentes numa dada associação. Depois de conhecida a sequência de cristalização, determinam-se as paragénese e associações minerais e conclui-se as etapas de formação de um determinado depósito mineral.

O estudo sistemático dos jazigos minerais e a tentativa de compreender os mecanismos de formação envolvidos, tem conduzido a uma maior preocupação com o estudo dos minerais da ganga que acompanham os minérios. Por outro lado, a análise textural das relações existentes entre estes dois grupos de minerais e a informação textural facultada pelos minerais translúcidos, quando estudados em luz transmitida, têm conduzido a um interesse crescente nos microscópios equipados simultaneamente com os dois sistemas de iluminação.

Ao contrário do que se passa com os estudos em luz transmitida, os estudos em luz refletida fazem uso de propriedades essencialmente qualitativas.

Em luz refletida, podem ser observadas as seguintes propriedades óticas: cor, poder refletor, pleocroísmo de reflexão, anisotropia e reflexões internas. Podem ainda ser descritas propriedades físicas qualitativas (a dureza e os arrancamentos) e de morfologia e estrutura (o hábito, a forma, a fraturação, a clivagem).

#### → **Micro-Espectroscopia *Raman***

A micro-espectroscopia *Raman* pode ser utilizada na caracterização físico-química de minerais. Apresenta como principais vantagens o seu caráter não destrutivo e elevada resolução espacial. A análise da amostra é feita com relativa rapidez *in situ*, à pressão e temperatura ambiente, em amostras de forma e tamanho variáveis, sem recorrer à sua preparação prévia.

Podem ser obtidos espectros *Raman* de objetos micrométricos, associando um microscópio a um espectrómetro *Raman* equipado com um sistema de deteção multicanal. Nos espectros obtidos, através das posições dos picos *Raman* mais desenvolvidos, determina-se imediatamente qual ou quais as classes de compostos, e, por sua vez, dentro de cada classe, qual o mineral analisado.



**Figura 12 - Equipamento de Micro-Espectroscopia *Raman* da FCUP.**

A análise de MRS foi efetuada num espectrómetro Horiba Jobin-Yvon LabRam Microscope XploRA™ com laser Ar+ laser com  $\lambda = 532 \text{ nm}$  do Instituto de Ciências da Terra, Pólo da FCUP (figura 12).

### → Microscopia Eletrónica de Varrimento

No sentido de aumentar a escala de observação deste estudo, assim como, o grau de resolução, procedeu-se ao estudo de áreas previamente selecionadas das lâminas delgadas e das superfícies polidas em microscopia eletrónica de varrimento.

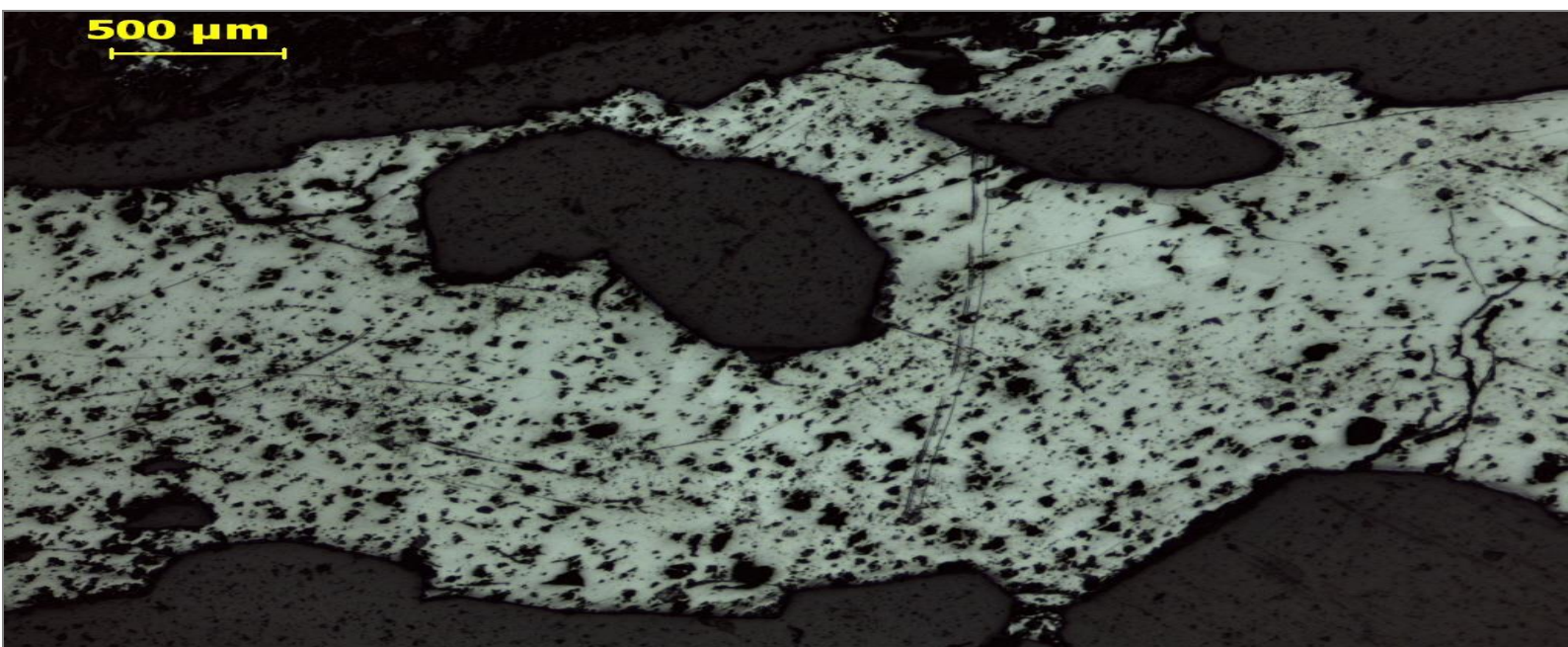
O Microscópio Eletrónico de Varrimento (MEV) é uma técnica de análise não destrutiva e dá a possibilidade de trabalhar com amostras maciças. Apresenta uma elevada gama de ampliações e permite uma enorme variedade de informações obtidas a partir dos sinais emitidos pela amostra, de que se salienta o relevo e a composição (nº atómico).

O MEV é um equipamento versátil que permite a obtenção de informações estruturais e químicas de diversas amostras que não necessitam de qualquer preparação prévia específica. A superfície da amostra é percorrida sequencialmente por um feixe de electrões de elevada energia, finamente focado, praticamente sem efeitos de difracção, possibilitando uma profundidade de campo muito superior à atingida em microscopia ótica. Ocorre também a emissão de raios-X que fornece a composição química elementar de uma parte da superfície, possibilitando a identificação dos diferentes elementos presentes.

O estudo das superfícies polidas foi realizado no CEMUP, utilizando um Microscópio Eletrónico de Varrimento ambiental de alta resolução (*Schottky*), com Microanálise por Raios-X e Análise de Padrões de Difração de Electrões Retrodifundidos Quanta 400FEG ESEM/EDAX *Genesis X4M* (figura 13). Para a utilização deste equipamento as amostras foram revestidas com filme fino de carbono.



Figura 13 - Microscópio Eletrónico de Varrimento ambiental do CEMUP.



## Resultados e Discussão





## Resultados

A mina do Sítio da Coitadinha é caracterizada por possuir mineralizações de antimónio e chumbo associadas a rochas metassedimentares do Centro Transmontano.

### → Rocha encaixante

Macroscopicamente a rocha é de grão muito fino, com um ponteadado de minerais opacos visíveis a olho nu. Apresenta uma tonalidade verde acinzentada e uma foliação insipiente (marcada a tracejado vermelho) (figura 14). Os opacos presentes definem uma ligeira orientação concordante com a foliação.

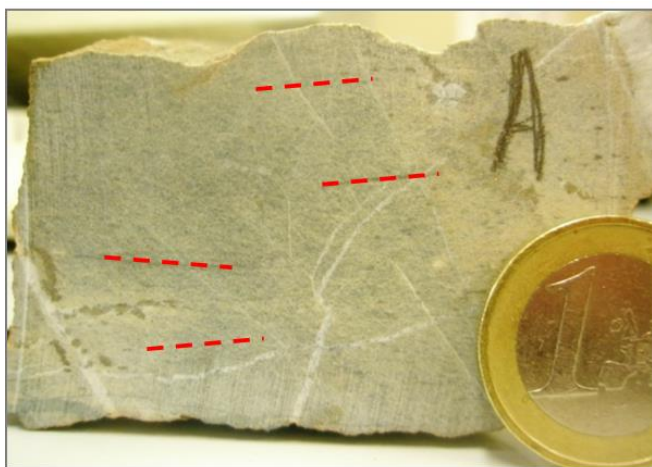


Figura 14 - Foliação insipiente marcada a tracejado vermelho.

A sua observação ao microscópio permite verificar que se trata de um filito em que se pode observar detalhes da foliação, nomeadamente uma clivagem de crenulação marcada por micas brancas mais desenvolvidas (figuras 15 e 16). Além das micas é clara a presença de clorite, responsável pela tonalidade verde observada macroscopicamente. A mineralização que ocorre na rocha é tardia e é constituída por arsenopirite e pirite disseminadas.

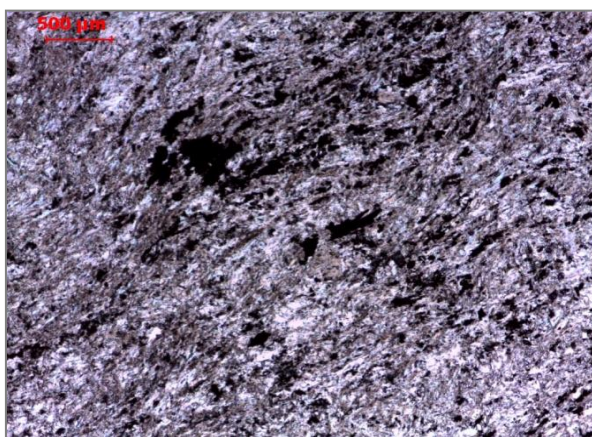


Figura 15 - Observação da rocha "encaixante" ao microscópio óptico. Nicóis paralelos.



Figura 16 - Observação da rocha "encaixante" ao microscópio óptico. Nicóis cruzados.



É de salientar ainda a existência de filonetes de quartzo (Figuras 17 e 18) e filonetes de quartzo e calcite (figuras 19 e 20) a cortar a rocha. O quartzo apresenta-se em mosaico de pequenas dimensões.

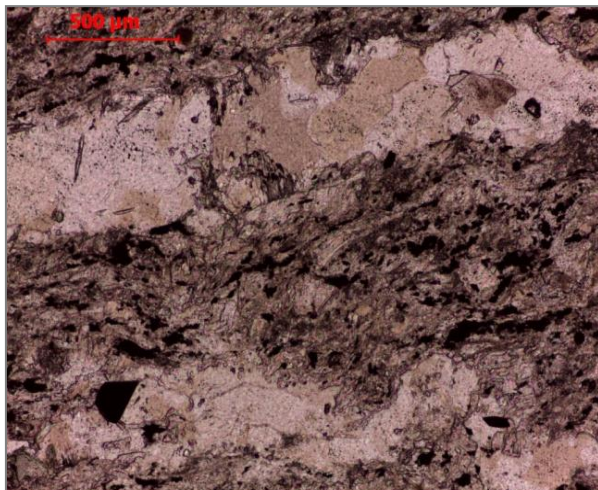


Figura 17 - Filonetes de quartzo que se encontram a cortar a rocha encaixante. Nicóis paralelos.

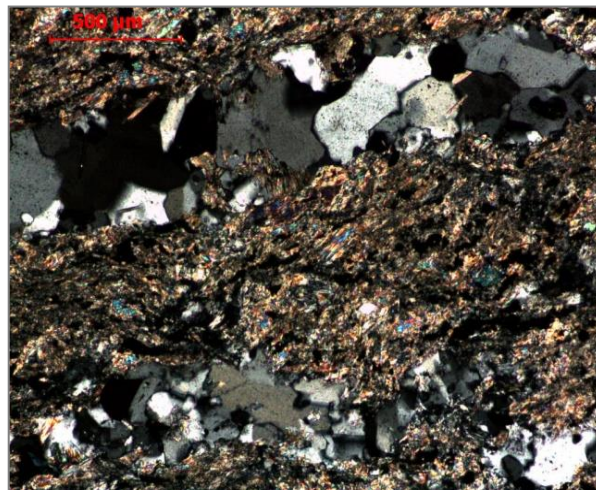


Figura 18 - Filonetes de quartzo que se encontram a cortar a rocha encaixante. Nicóis cruzados.

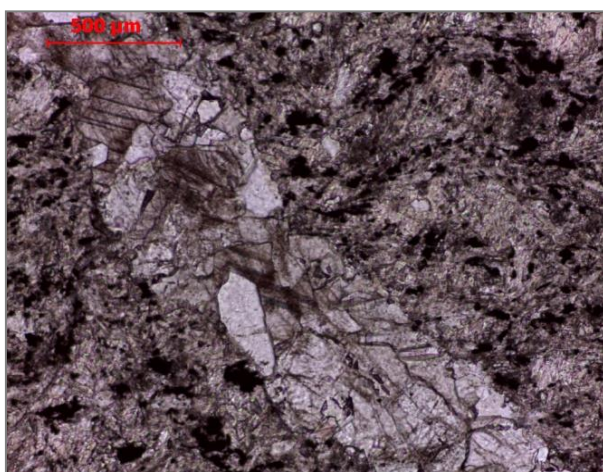


Figura 19 - Filonete de quartzo e calcite, em nicóis paralelos.

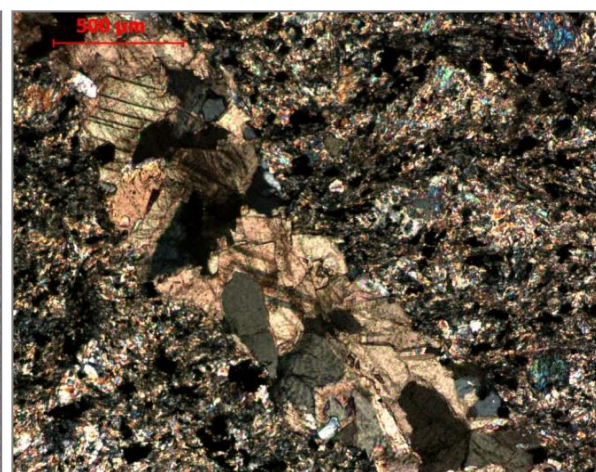


Figura 20 - Filonete de quartzo e calcite, em nicóis cruzados.

Noutras amostras estudadas é possível observar o que tudo indica ser uma brecha, constituída por clastos de metavulcanitos arredondados com uma dimensão entre os 2cm e os 5cm (figura 21), cimentados por quartzo e outros minerais indistinguíveis a olho nu. Alguns destes clastos encontram-se fraturados e preenchidos por veios de quartzo, como se observa na figura 22. Nos clastos é bastante evidente a existência de aglomerados de clorite, responsáveis pela cor esverdeada destes clastos. Este aspeto é bastante evidente nas amostras de mão recolhidas.





Figura 21 – Amostra de “brecha”.



Figura 22 - Fraturas preenchidas por quartzo.

Microscopicamente, no cimento desta brecha distinguem-se quartzo, rútilo, mica branca, clorite e apatite. O quartzo, a mica branca e a clorite são encontrados com uma maior frequência do que os restantes minerais mencionados. A clorite além de se encontrar em aglomerados, fornecendo uma cor esverdeada à rocha, aparece a rodear a pirite e a arsenopirite. De todos estes minerais, a apatite é relativamente rara, tendo sido encontrada apenas com recurso ao MEV.

Os cristais de quartzo são euédricos, formando uma estrutura em pente, e possuem inclusões fluidas muito abundantes, como se pode observar nas figuras 23 e 24. Este quartzo encontra-se associado à primeira geração de arsenopirite (Apy I). A pirite também se encontra presente.



Figura 23 - Quartzo em forma de pente rodeado por minérios, em nicóis paralelos.

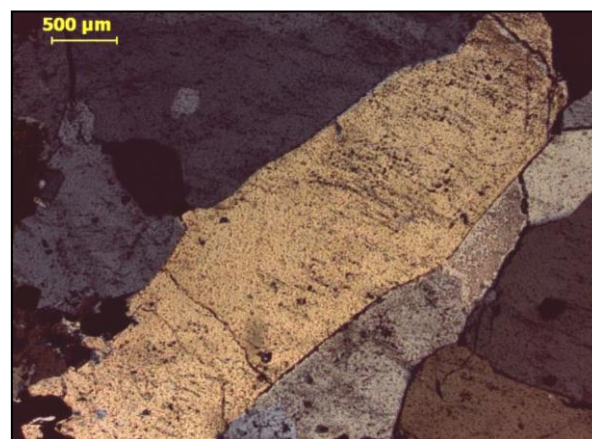
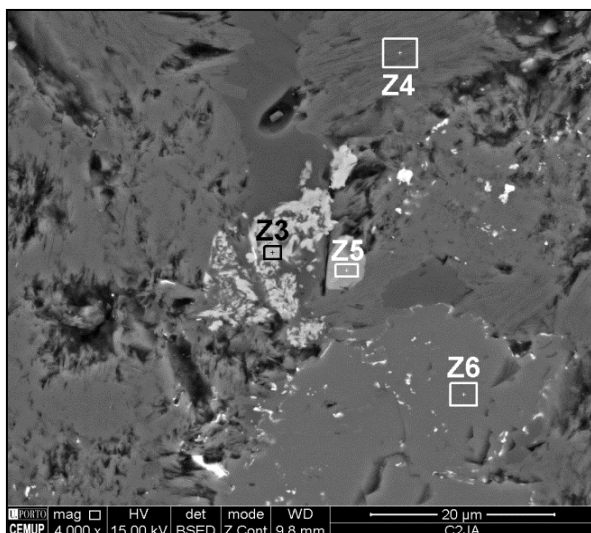


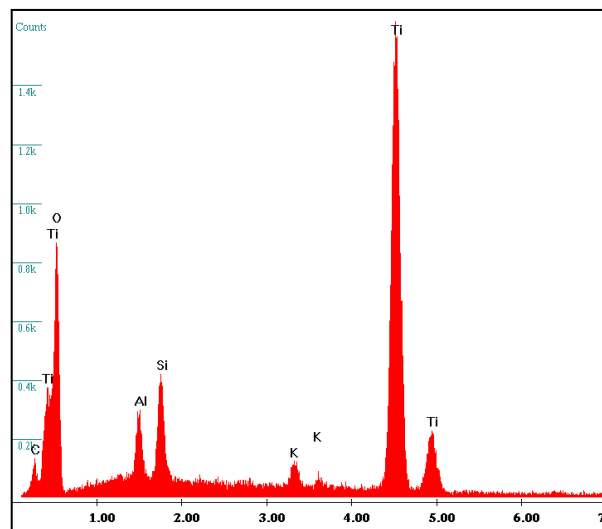
Figura 24 - Quartzo em pente rodeado por minérios, em nicóis cruzados.

O estudo ao MEV de alguns minerais encontrados no filito revelou a presença de um óxido de titânio (figura 25). O espetro EDS deste óxido (figura 26) revela além de titânio (Ti) e oxigénio (O), a presença de elementos como o alumínio (Al), a sílica (Si) e o potássio (K).



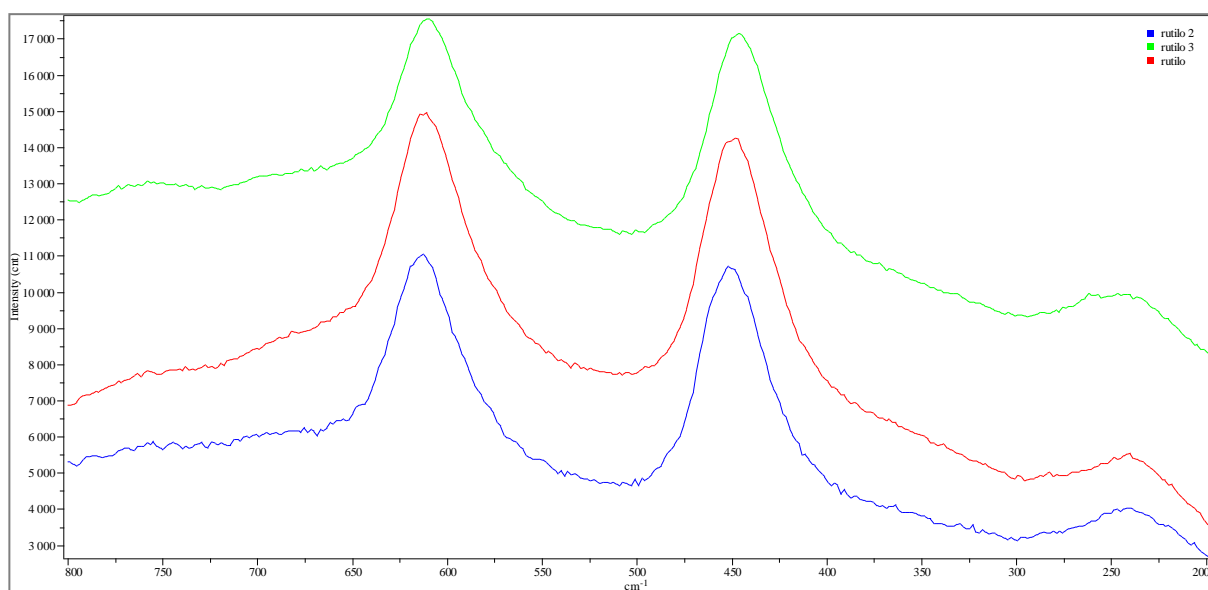


**Figura 25 - Imagem SEM da rocha encaixante.**  
Z3 – rútilo, Z4 – mica branca, Z5 – apatite e Z6 – mica branca.



**Figura 26 - Espectro EDS do rútilo da zona Z3.**

A análise de Micro-Espectroscopia *Raman* obtida nestes minerais mostrou a existência de duas bandas bem definidas a aproximadamente  $450\text{cm}^{-1}$  e  $610\text{cm}^{-1}$ . As bandas nestas posições são características do rútilo (Figura 27).



**Figura 27 - Espectros Raman característicos do rútilo obtidos na rocha encaixante.**

Ainda com recurso ao MEV, na mesma amostra (figura 25 - Z5), foi encontrado um mineral cujo espectro EDS revela fósforo (P), cálcio (Ca) e O. Apresenta, ainda assim, uma composição elemental pobre em Si, Al e flúor (F) como se observa na figura 28. Tudo indica tratar-se de uma apatite com flúor.

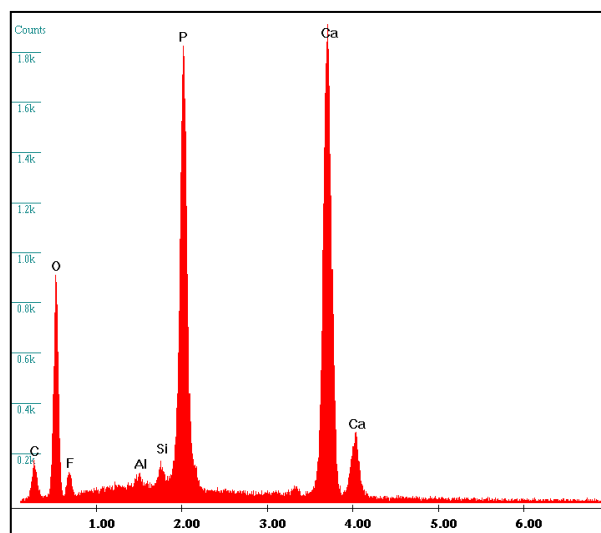


Figura 28 - Espectro EDS da apatite da zona Z5.

De igual forma, na mesma figura, nas zonas Z4 e Z6, foram obtidas composições elementares muito ricas em Si, Al, K e O, pertencendo respetivamente a uma mica branca (Z6) e outro a uma mica com ferro (Fe) e magnésio (Mg) (Z4), como se observa na figura 29 e 30.

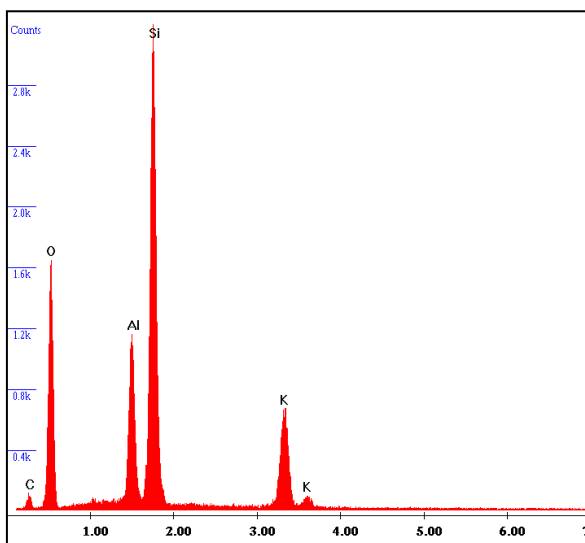


Figura 29 - Espectro EDS da mica branca da figura 24 (Z6).

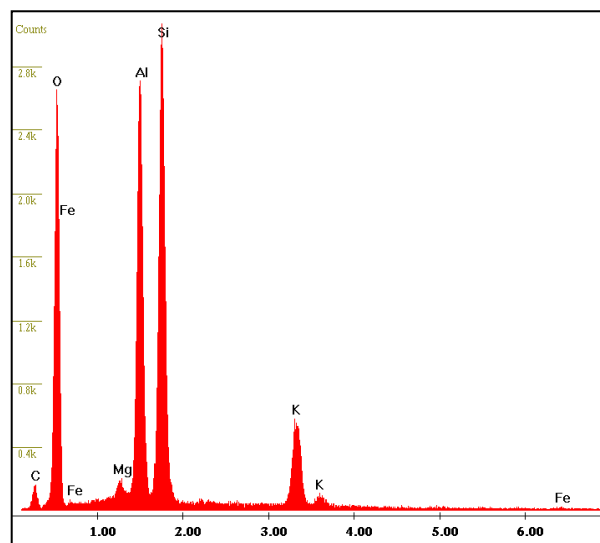


Figura 30 - Espectro EDS da mica com Fe e Mg da figura 24 (Z4).

### → Estruturas mineralizadas

Em seguida e devidamente separados, faremos a descrição dos minerais observados, dividida em minerais não metálicos (quartzo, clorite e calcite) e minerais metálicos (arsenopirite, pirite, ouro, calcopirite, esfalerite, galena, estibina, bertierite, calcostibite e óxidos de Sb).

## 1) Minerais Não Metálicos

### a. Quartzo

Foram observados dois tipos de quartzo com texturas distintas. Um em cristais euédricos com estrutura em forma de pente (Qz I), já caracterizado, e uma segunda geração de quartzo em mosaico (Qz II) que preenche os espaços entre os cristais de Qz I. O Qz II é bem diferenciado e de menor dimensão que Qz I. Apresenta um aspeto em mosaico (figuras 31 e 32), típico de um quartzo de recristalização. No seio deste quartzo recristalizado são, por vezes, visíveis pequenas “ilhas” de quartzo deformado de pequenas dimensões (figuras 33 e 34), caracterizado por possuir bordos pouco definidos e uma forte extinção ondulante. Todos estes quartzos são anteriores à cristalização dos primeiros sulfuretos (arsenopirite e pirite), uma vez que se apresenta bem definido o contacto entre eles e os sulfuretos.

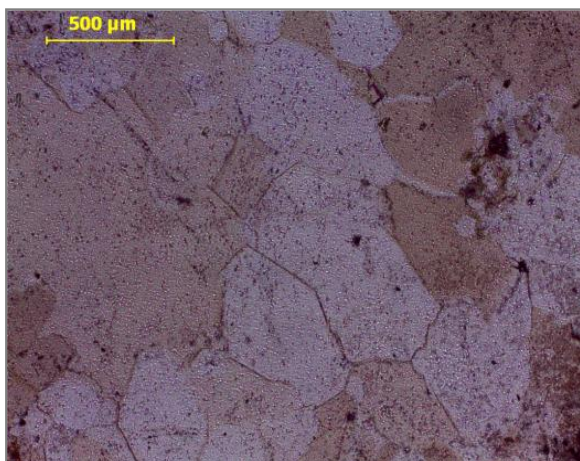


Figura 31 - Aspeto do quartzo em mosaico, em nicóis paralelos.

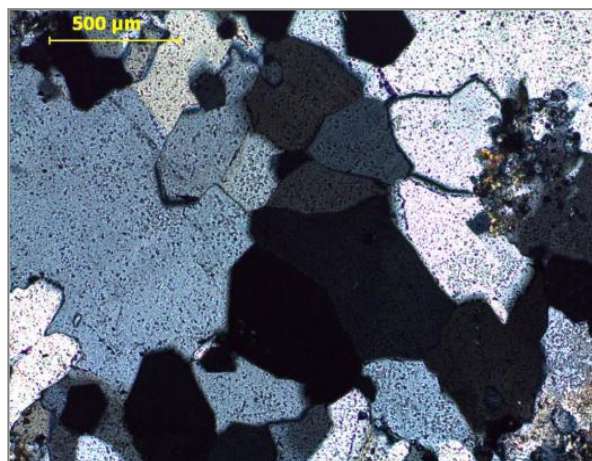


Figura 32 - Aspeto do quartzo em mosaico, em nicóis cruzados.

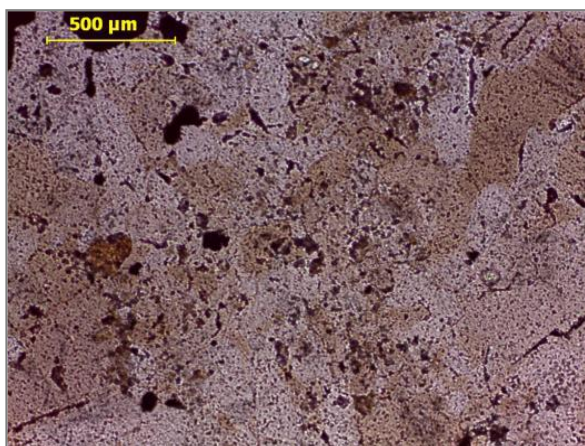


Figura 33 - “Ilhas” de quartzo de pequenas dimensões, em nicóis paralelos.

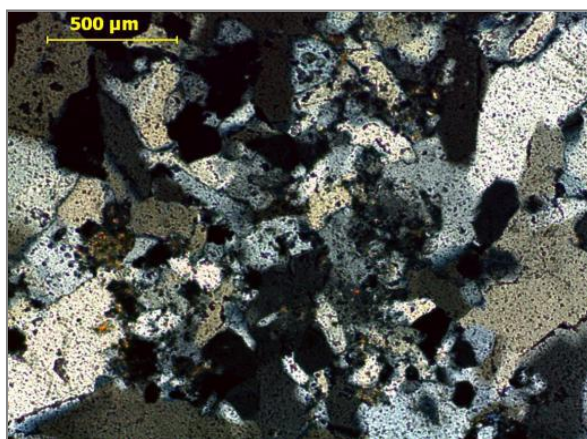


Figura 34 - “Ilhas” de quartzo de pequenas dimensões, em nicóis cruzados.



## b. Clorite

A clorite é observada quer na rocha encaixante, quer à volta de certos minerais opacos (figuras 35 e 36), como a pirite e a arsenopirite, alternando entre bandas mais finas a mais grosseiras, o que sugere uma formação após os sulfuretos.



Figura 35 - Clorite rodeando os minerais opacos, em nicóis paralelos



Figura 36 - Clorite rodeando os minerais opacos, em nicóis cruzados.

A composição elemental da clorite revela a presença de O, Si, Al e Mg e é pobre em Fe (Figura 38).

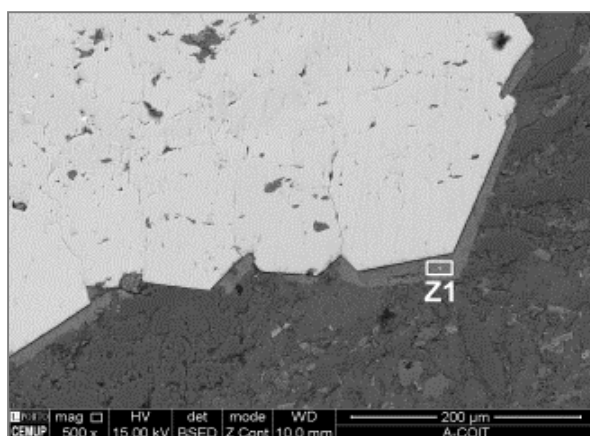


Figura 37 - Clorite a rodear os minerais opacos (Z1). Microscopia Eletrónica de Varrimento.

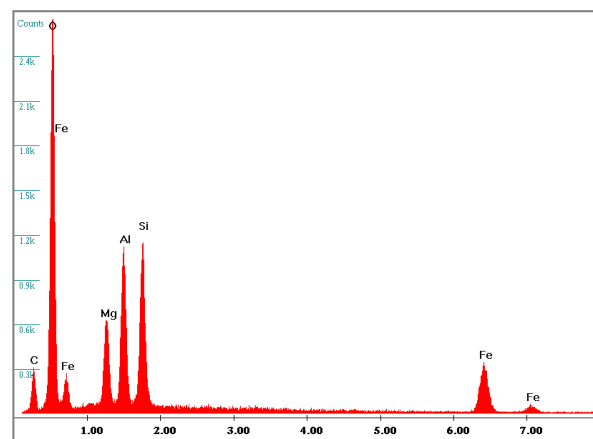


Figura 38 - Espectro EDS da clorite observada em Z1.

Pontualmente, foi ainda observada uma clorite vermicular, como se verifica na figura 39 e 40.

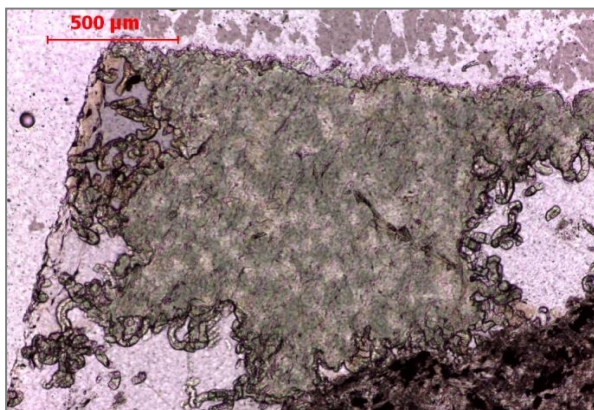


Figura 39 - Clorite vermicular, em nicóis paralelos.

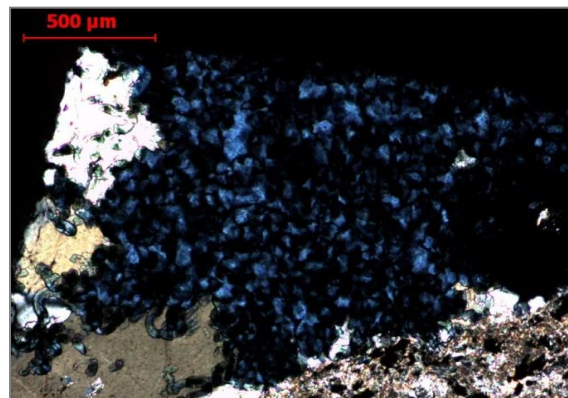


Figura 40 - Clorite vermicular, em nicóis cruzados.

### a. Calcite

Foram também observados alguns carbonatos, com características petrográficas da calcite, como se evidencia nas figuras 41 e 42. A análise por micro-espectroscopia *Raman* destes carbonatos, permitiu confirmar que se tratavam de calcite (Figura 43).

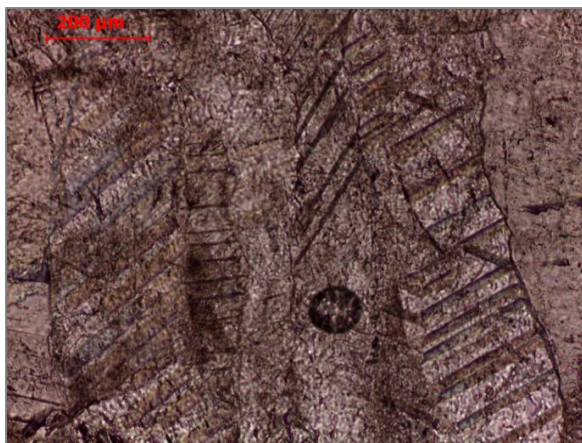


Figura 41 - Carbonatos, em nicóis paralelos.

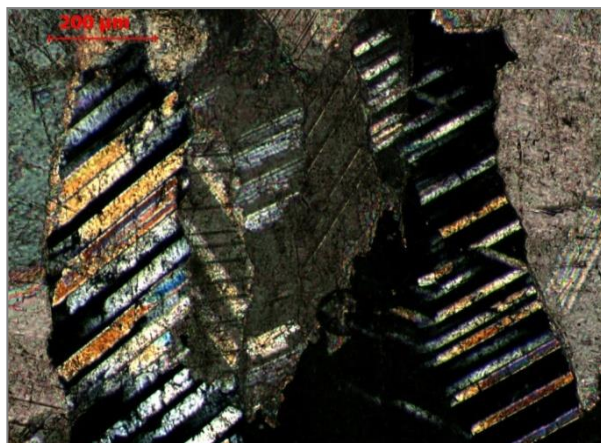


Figura 42 - Carbonatos, em nicóis cruzados.

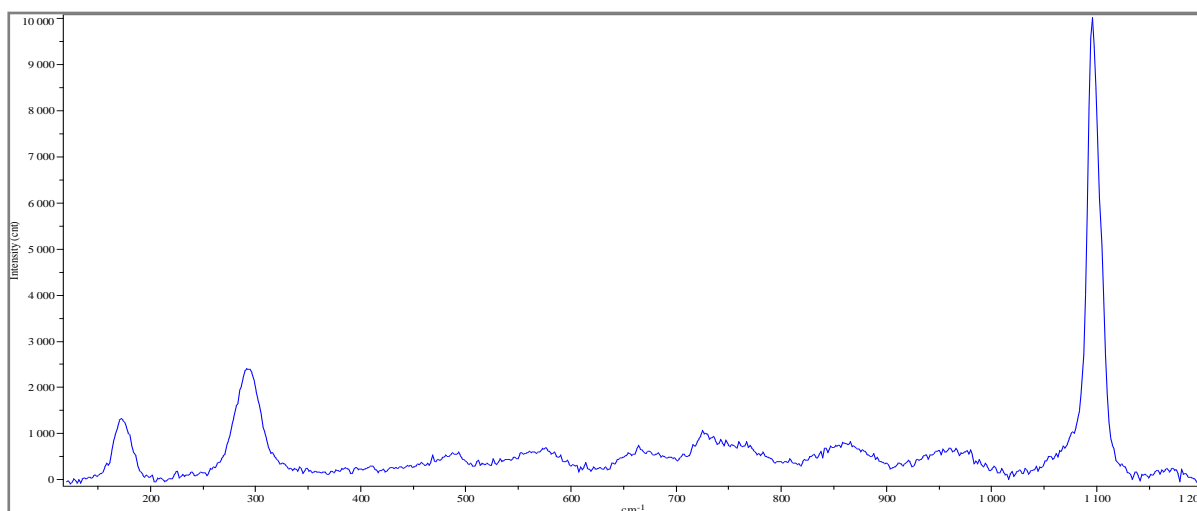


Figura 43 - Espectro Raman da calcite obtido nos carbonatos estudados.

## 2) Minerais Metálicos

### a. Arsenopirite I e II

A arsenopirite parece ter sido o primeiro sulfureto a formar-se. Apresenta uma cor esbranquiçada e elevado poder refletor. Após o estudo das lâminas delgadas polidas, tornou-se evidente a presença de duas gerações de arsenopirite: a primeira, arsenopirite I (Apy I), de maior dimensão e forma euédrica, encontra-se frequentemente fraturada e geralmente associada ao quartzo em pente (figura 44).

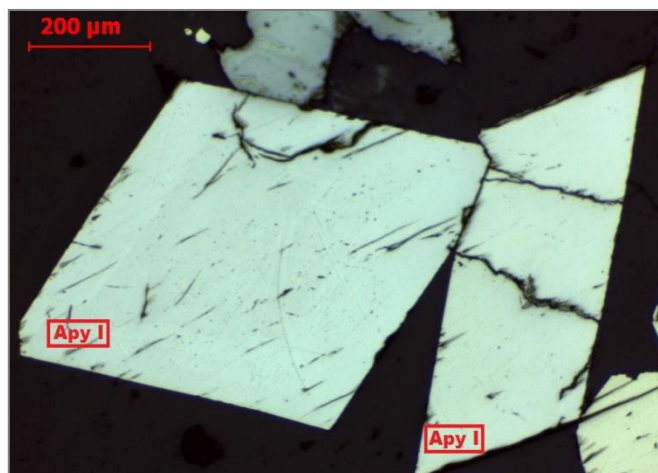


Figura 44 - Arsenopirite I depositada diretamente no quartzo em pente.

A arsenopirite II (Apy II) é anédrica e de menor dimensão relativamente à arsenopirite I. Encontra-se associada à pirite I e, na maior parte das vezes, aparece associada à estibina. A arsenopirite II parece ter-se depositado após a pirite I, como se consegue observar na figura 45.

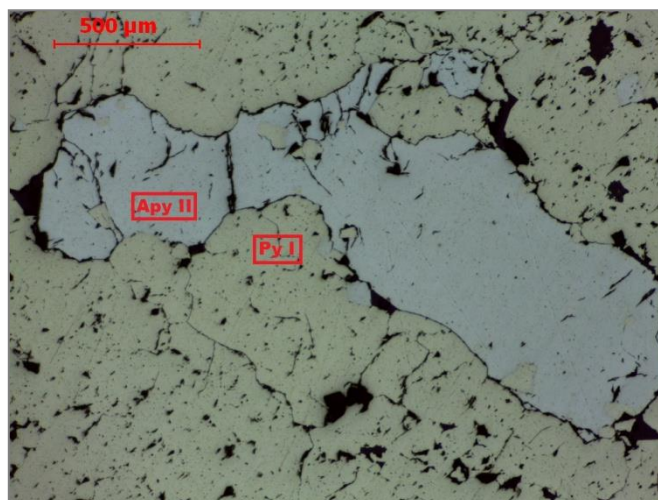


Figura 45 - Arsenopirite II (Apy) associada à pirite I (Py), em microscopia de reflexão.

Foi analisada ao MEV uma associação mineral entre pirite (Z2), arsenopirite (Z3), bertierite (Z4) e estibina (Z5), como se expõe na figura 46. Foram ainda obtidas as composições dos mesmos minerais, onde na figura 47, se apresenta a composição da arsenopirite obtida em Z3. A composição elementar é composta predominantemente por S e As e apresenta ainda uma pequena quantidade de Fe. Esta arsenopirite corresponde ao que consideramos ser Apy II.



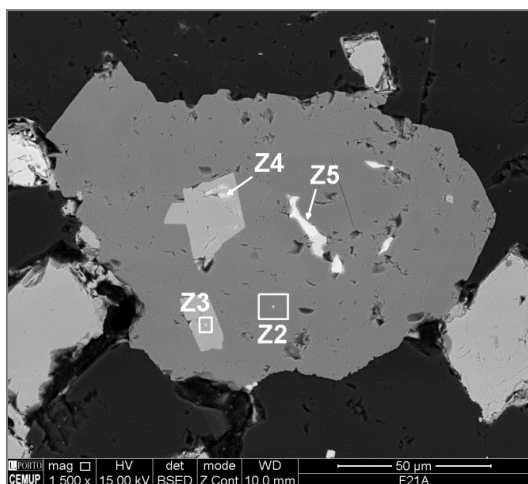


Figura 46 - Associação mineral; figura obtida no MEV.

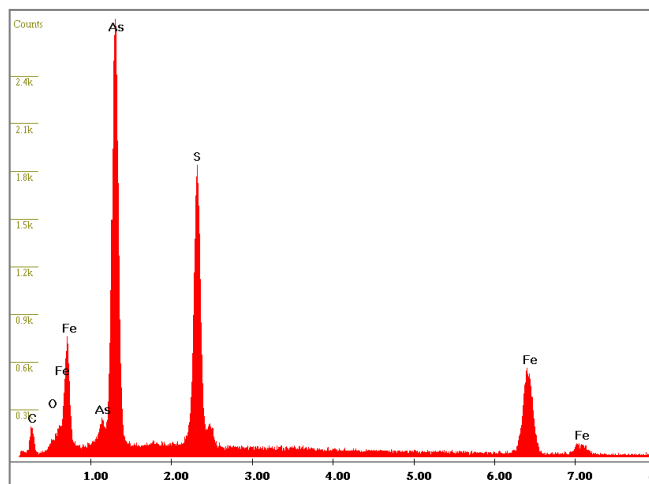


Figura 47 - Espectro EDS da arsenopirite observada na zona Z3.

### b. Ouro Nativo

Foi encontrado ouro nativo (Z9) incluído na pirite I (Z7) (figura 48). Este cristal, que apresenta uma dimensão de 3 µm, só foi encontrado recorrendo à microscopia eletrónica de varrimento.

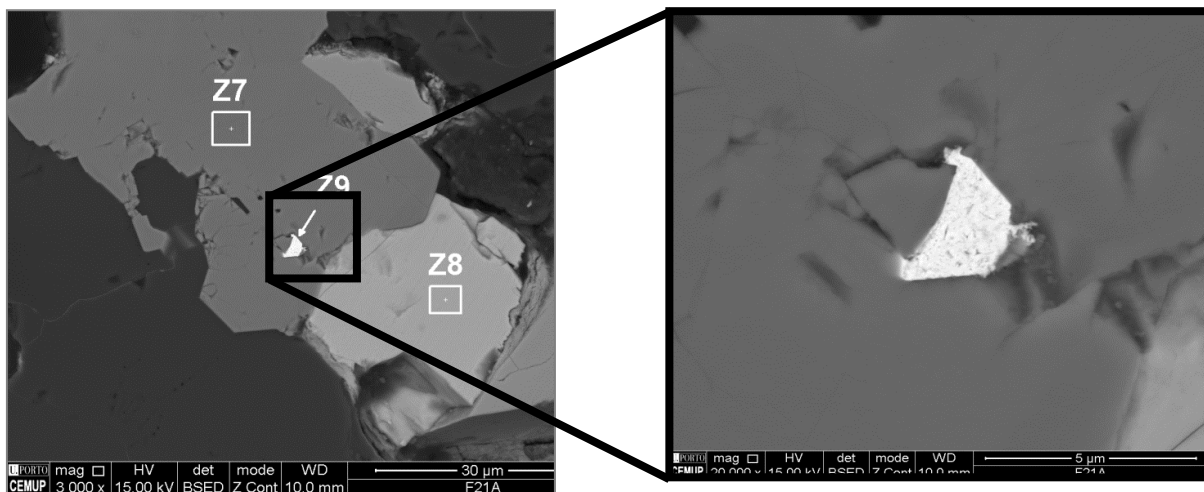


Figura 48 - Imagem SEM de um grão de ouro (Z9) incluído na Pirite I (Z7).

De igual forma, foi efetuado o estudo da sua composição elementar, evidenciando além de um alto conteúdo em Au, um baixo conteúdo em Ag, como se verifica na figura 49.

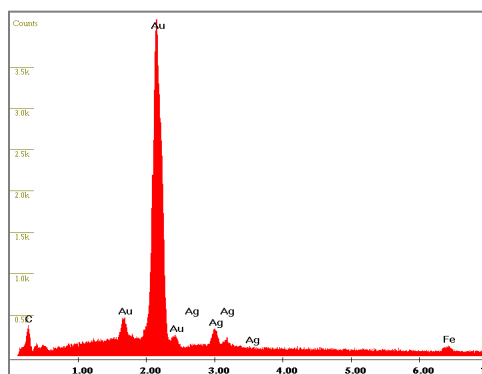


Figura 49 - Espectro EDS do grão de ouro observado na figura 47.

### c. Pirite I e II

Tal como acontece com a arsenopirite, a pirite apresenta duas fases de deposição, existindo por isso, a pirite I e a pirite II.

A pirite I (figura 50) apresenta-se euédrica em cristais de grandes dimensões agregados entre si, formando grandes massas. Encontra-se pouco fraturada e pode apresentar inclusões de ouro nativo, como já foi referido anteriormente. Encontra-se associada ao quartzo em pente, à arsenopirite I e ao ouro nativo, parecendo ser posterior a estes três minerais.

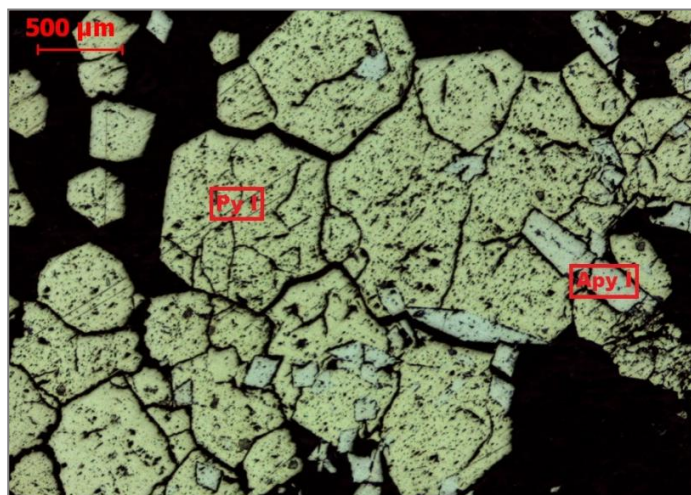


Figura 50 - Grandes massas de pirite I (Py I) associadas à arsenopirite (Apy I), em microscopia de reflexão.

A pirite II (figura 51) é subédrica a anédrica. A dimensão dos seus cristais é inferior aos da pirite I, sendo muito abundante. A composição elemental da pirite II foi assim obtida a partir da zona Z2 da figura 46, como se verifica na figura 52. Apresenta uma composição elemental muito rica em S e Fe, porém, observou-se ainda uma pequena quantidade de As.

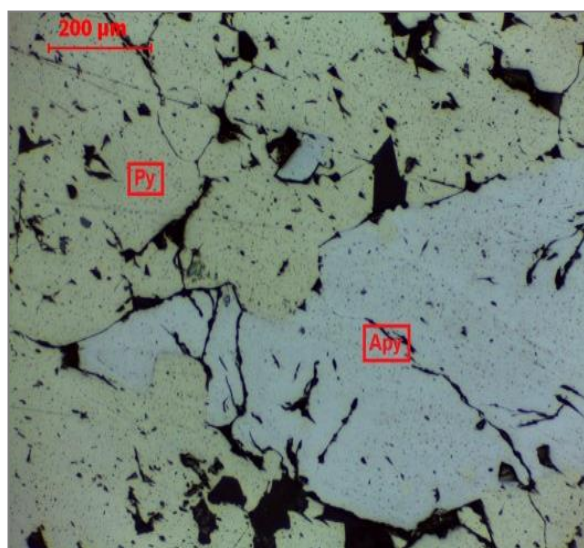


Figura 51 - Pirite II, subédrica a anédrica, associada a arsenopirite I.

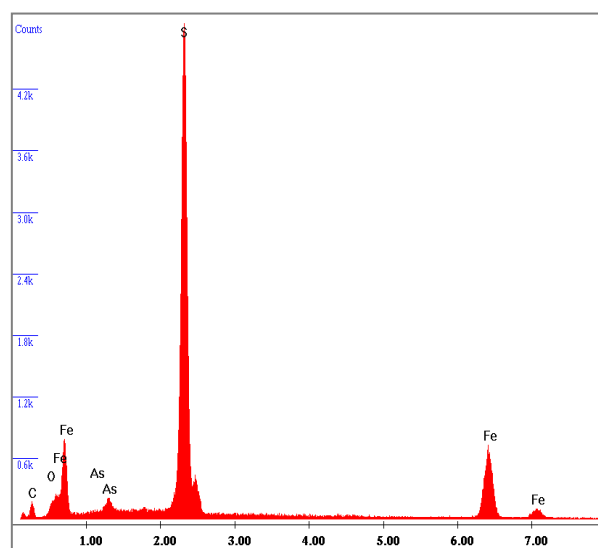


Figura 52 - Composição elemental da pirite analisada na figura 46.



#### d. Calcopirite

A calcopirite encontra-se associada ao quartzo em pente (Qz I). Devido à pequeníssima dimensão dos cristais, só foi encontrada uma calcopirite no microscópio óptico de luz refletida (Figura 53).

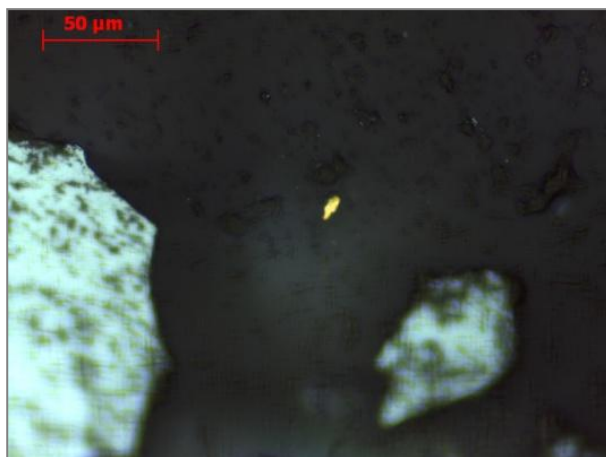


Figura 53 - Cristal de Calcopirite, em microscopia óptica de reflexão.

As restantes calcopirites foram estudadas no MEV, numa associação com o quartzo em pente e a bertierite, como se verifica nas figuras 54 e 55.



Figura 54 - Z7 – Calcopirite associada ao quartzo em pente e à bertierite.

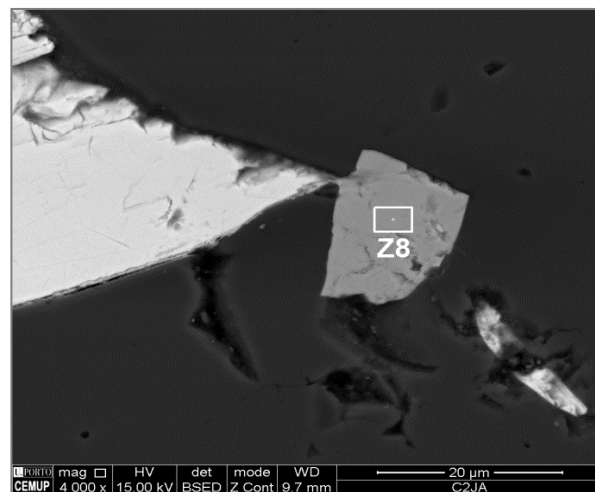


Figura 55 - Z8 – Calcopirite associada ao quartzo em pente. Microscopia Eletrônica de Varrimento.

Ao MEV foi possível obter a composição elementar das calcopirites descritas. As calcopirites apresentam uma composição elementar muito semelhante entre si, com os elementos S, Cu e Fe em evidência (figuras 56 e 57).

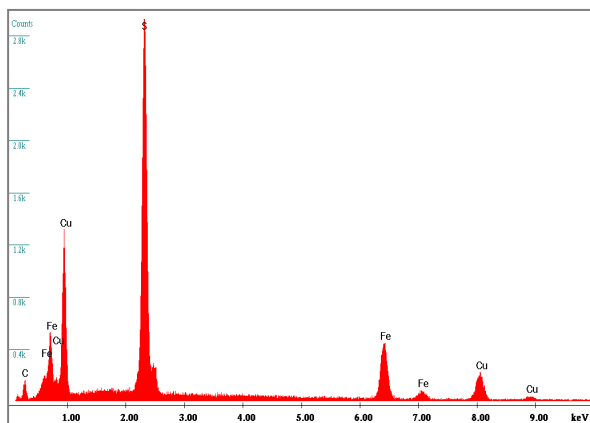


Figura 56 - Espectro EDS da calcopirite da zona Z7.

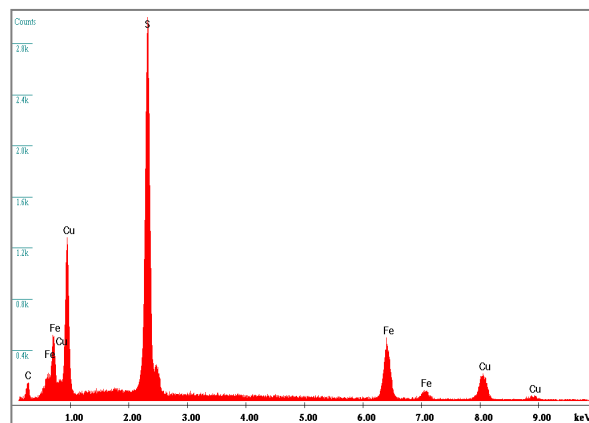


Figura 57 - Espectro EDS da calcopirite da zona Z8.

### e. Esfalerite

A esfalerite em microscopia de transmissão, apresenta uma cor castanha e um relevo positivo, como se verifica na figura 58. É perceptível a presença de cobres cinzentos no seu interior. Encontra-se geralmente associada ao quartzo em mosaico (Qz II) (figura 59) e a sua deposição parece ter ocorrido após os primeiros sulfuretos (arsenopirite I e II, pirite I e II) e antes da estibina.

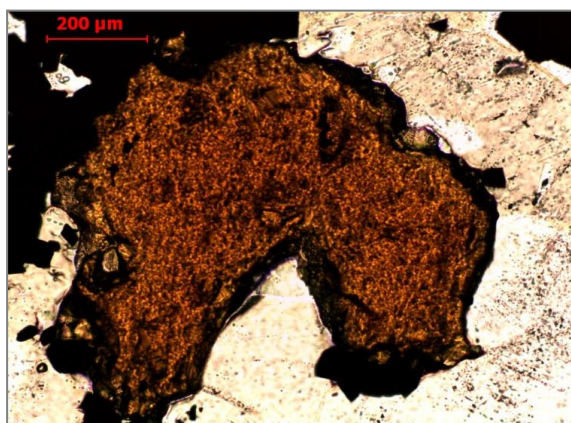


Figura 58 – Esfalerite, em microscopia de transmissão.

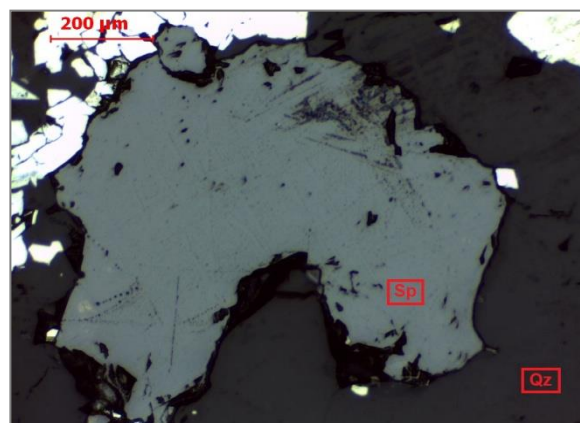


Figura 59 – Esfalerite associada ao quartzo em mosaico (Qz II), em microscopia de reflexão.

Já na figura 60, observa-se uma associação entre a esfalerite (Sp), a pirite (Py) e a estibina (Stbn).

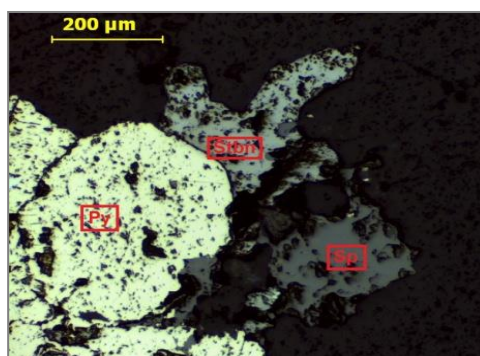


Figura 60 - Esfalerite (Sp) depositada após a pirite (Py) e antes da estibina (Stbn).

Em Microscopia *Raman*, foi possível analisar quatro esfalerites, que se apresentavam com as suas bandas características em forma de tripleto, como se observa na figura 61.

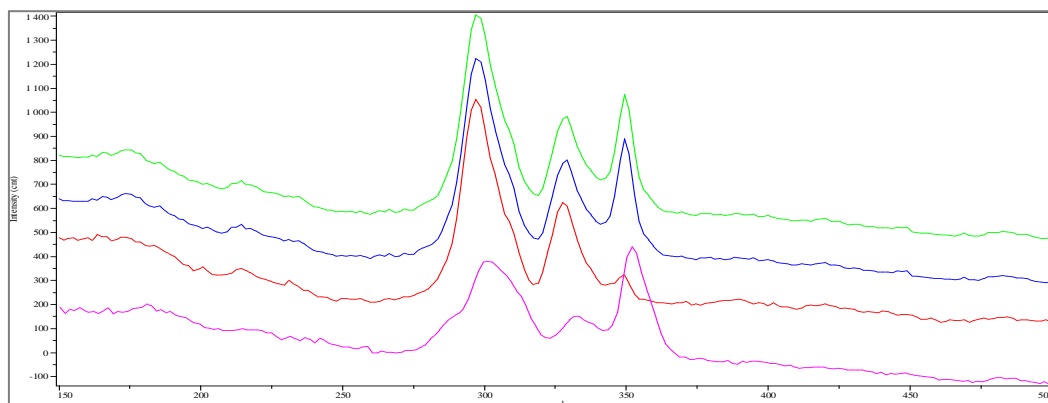


Figura 61 - Espectro Raman obtido nas esfalerites estudadas.

De seguida, já no MEV, podemos verificar que dois dos cristais de esfalerite (figura 62 e 63), apresentavam uma composição elementar semelhante, como se verifica nas figuras 64 e 65, respetivamente, e correspondem a esfalerites sem ferro que são de mais baixa temperatura que as esfalerites com ferro (marmatites).

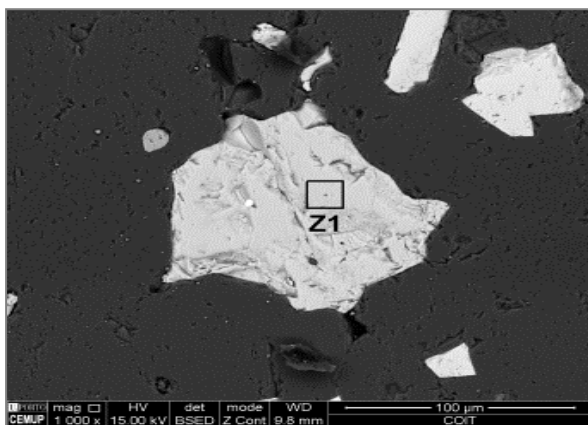


Figura 62 - Cristal de esfalerite (Z1), analisado no MEV.

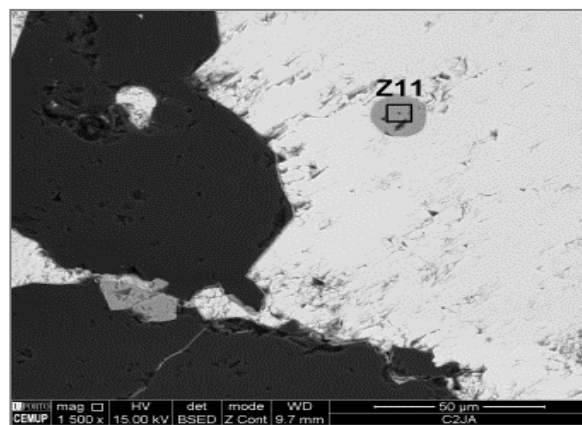


Figura 63 - Cristal de esfalerite (Z11), analisado no MEV.

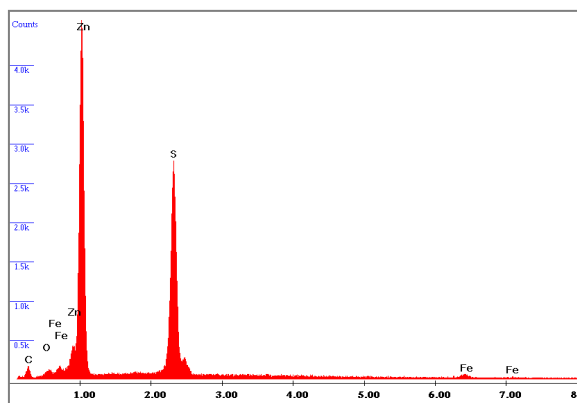


Figura 64 - Espectro de EDS obtido na esfalerite da imagem 61.

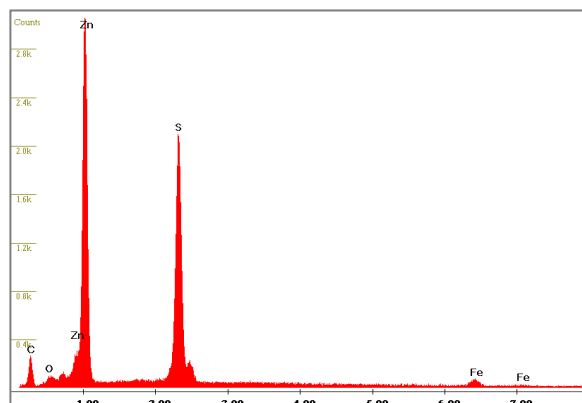


Figura 65 - Espectro de EDS obtido na esfalerite da imagem 62.

## f. Galena

A galena, devido ao seu tamanho muito reduzido, apenas foi observada no MEV (figura 66). Como se consegue verificar na mesma figura, a galena (Z1) encontra-se incluída na estibina (Z2), o que indica que é anterior a esta (figura 67). Obteve-se ainda o espectro EDS desta galena, onde se observa uma composição rica em S e Pb. São encontrados ainda elementos como o Sb e o Fe.

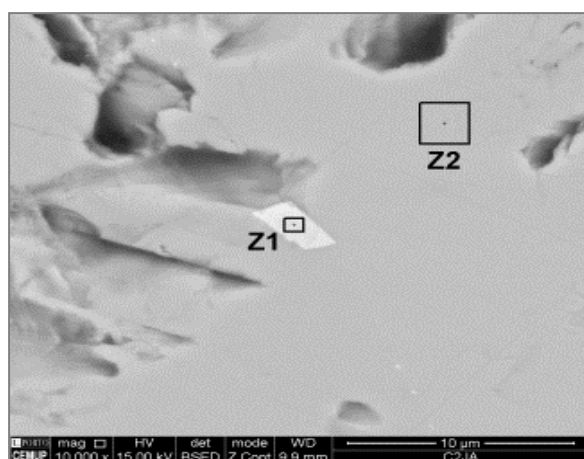


Figura 66 - Galena (Z1) incluída na estibina (Z2).

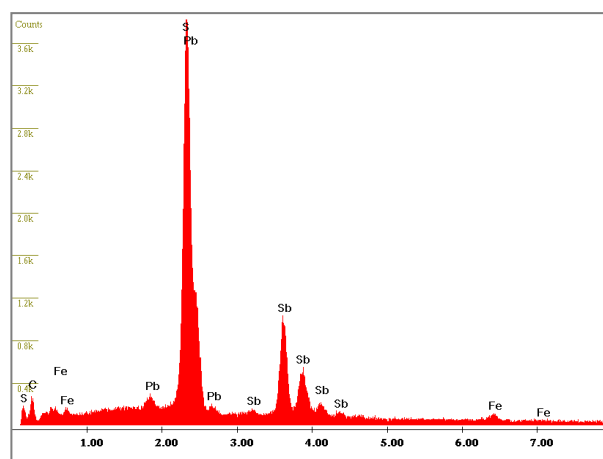


Figura 67 - Espectro de EDS da zona Z1 correspondente à galena.

## g. Estibina

A estibina apresenta geralmente um aspeto granular (figura 68). Esta estibina é posterior a todas as gerações de quartzo e sulfuretos, preenchendo os espaços existentes entre eles.

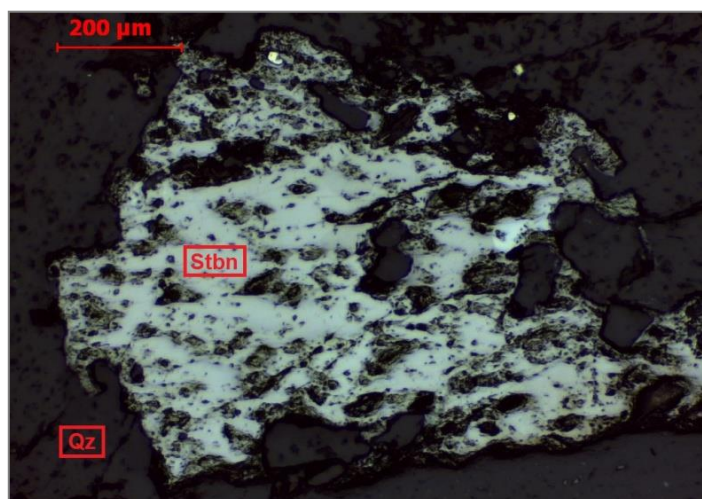


Figura 68 - Estibina (Stbn) depositada em quartzo (Qz).

Em Microscopia Raman, foi possível analisar quatro estibinas, que se apresentavam com as suas bandas características, uma aos  $275\text{cm}^{-1}$  e outra aos  $325\text{cm}^{-1}$ , como se observa na figura 69.



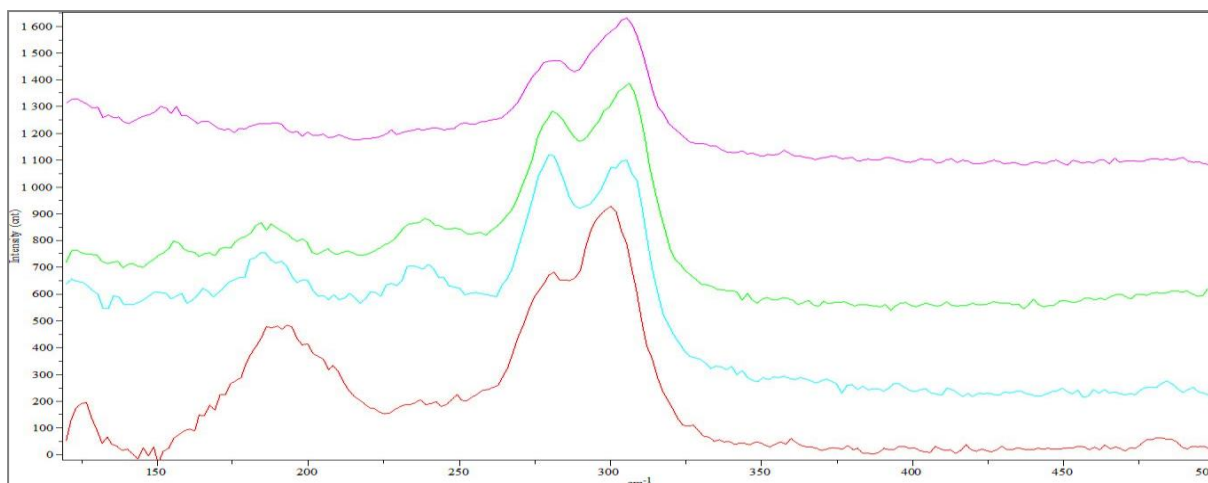


Figura 69 - Espectro de quatro estibinas obtido por espectroscopia micro-Raman.

Por fim, no MEV, foi possível analisar as estibinas das figuras 46 e 66 (Z2). Estas apresentam as suas composições elementares bastante semelhantes, onde além dos elementos químicos esperados, S e Sb, no primeiro espectro é evidente a presença de algum Fe (figura 70 e 71).

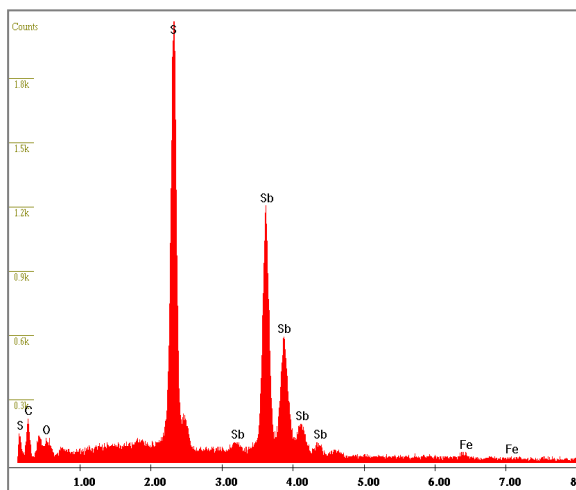


Figura 70 – Espectro EDS da estibina da figura 66.

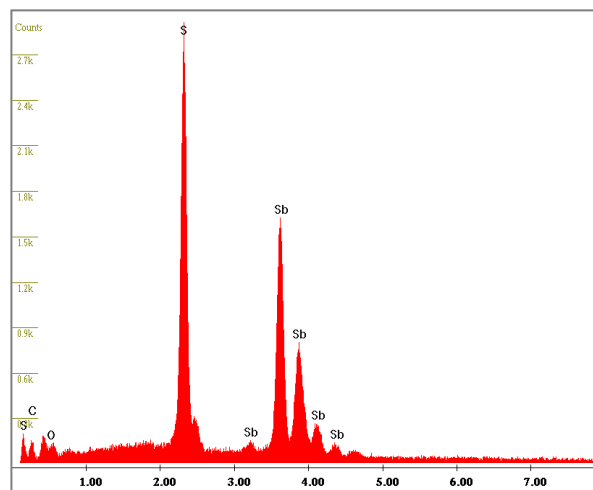


Figura 71 - Espectro de EDS correspondente à estibina da figura 46.

#### h. Bertierite

Após a deposição dos minerais anteriores, a bertierite preenche os espaços ainda existentes (figura 72 e 73) apresentando frequentemente inclusões de estibina. Ainda no estudo da bertierite, foram obtidos dois espectros EDS (figura 74 e 75). Na composição elementar das bertierites analisadas, é evidente a presença de S, Sb e Fe, porém no segundo espectro obtido, ocorre uma pequena composição elementar em As.

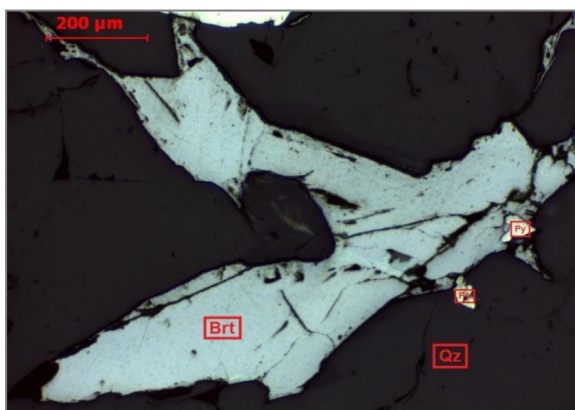


Figura 72 - Bertierite (Brt) a preencher espaços existentes.

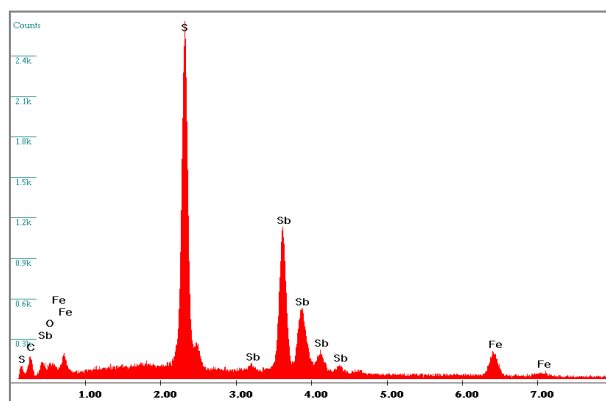


Figura 73 - Análise do cristal de bertierite da figura anterior por EDS

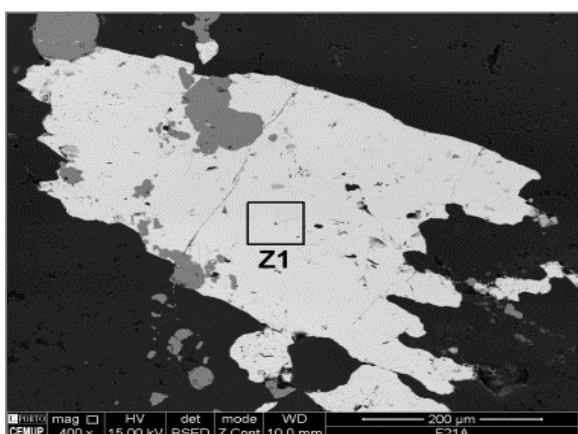


Figura 74 - Bertierite (Z1) em microscopia de reflexão.

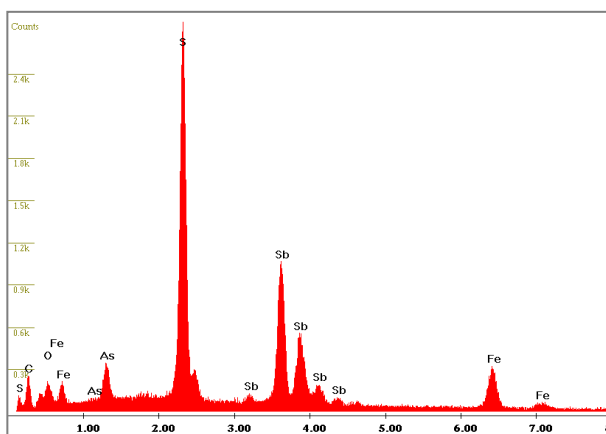


Figura 75 - Espectro EDS da bertierite da figura anterior.

### i. Calcostibite

A calcostibite encontra-se associada à bertierite. É um sulfureto de cobre e antimónio, com composição química  $\text{CuSbS}_2$ . Este mineral, devido à sua dimensão muito reduzida e à sua quantidade, só foi detetado aquando da análise no MEV (figura 76). Por fim, foi obtida a composição elemental deste mineral, rica em S, Sb e Cu (figura 77).

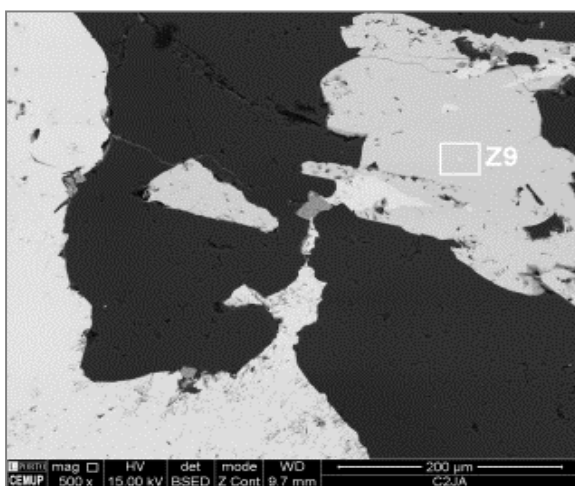


Figura 76 - Calcostibite (Z9), obtida no MEV.

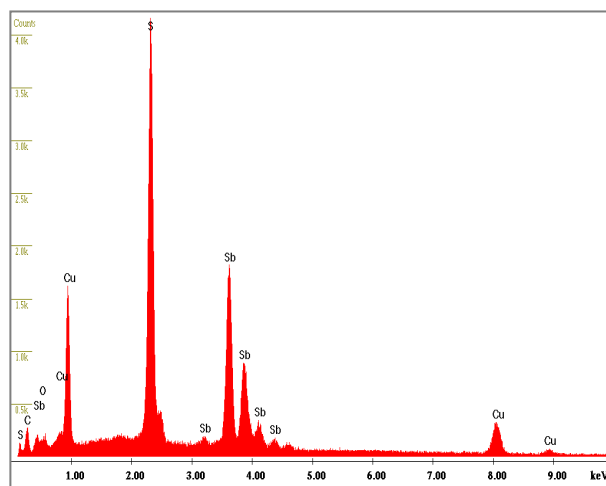


Figura 77 - Espectro EDS obtido na calcostibite (Z9).

## j. Óxidos de Sb

Os óxidos de Sb e Pb são muito frequentes nas amostras estudadas e localizam-se essencialmente nas fraturas da estibina e bertierite, evidenciando o seu carácter tardio. Um dos óxidos de Sb mais frequente é a cervantite, de fórmula química  $\text{SbO}_4$ . Devido à sua dimensão, este mineral foi observado no MEV, como demonstram as figuras 78 e 79.

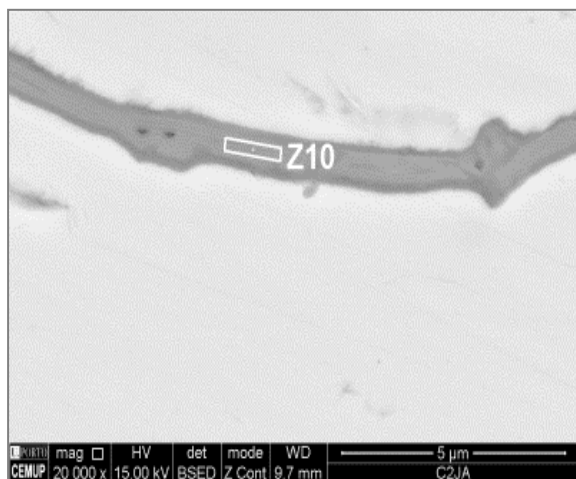


Figura 78 - Legenda: Z10 – Cervantite a preencher a fratura de uma bertierite.

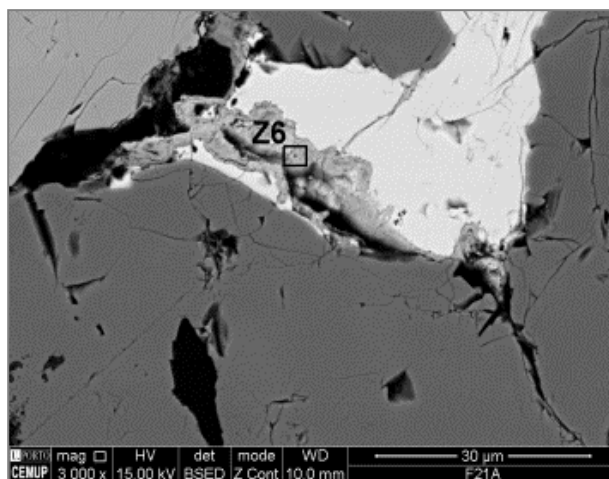


Figura 79 - Z6 – Bertierite a ser alterada para cervantite. Microscopia Eletrônica de Varrimento.

Foi ainda obtida a composição elementar deste óxido, como se verifica na figura 80. Na sua composição, além de elementos como Sb e O, ocorrem ainda S, Fe, Cu e As.

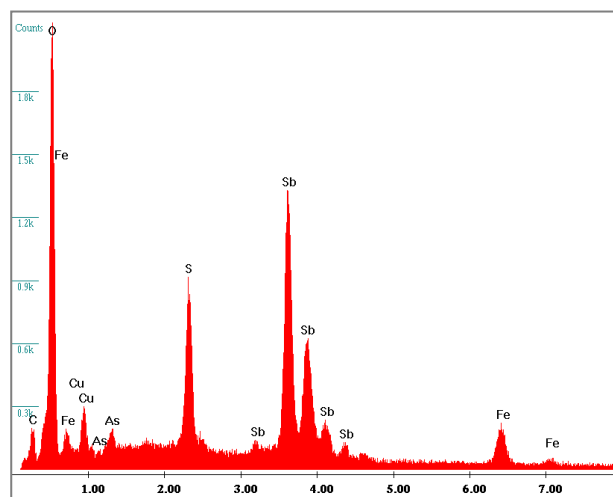


Figura 80 - Espectro EDS da cervantite da figura 77.

Um outro óxido observado foi a senarmontite (figura 81); é um óxido de antimónio de fórmula química  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , que ocorre frequentemente nas diversas amostras estudadas. A senarmontite, preenche os espaços ainda disponíveis após a deposição dos quartzos e dos sulfuretos.

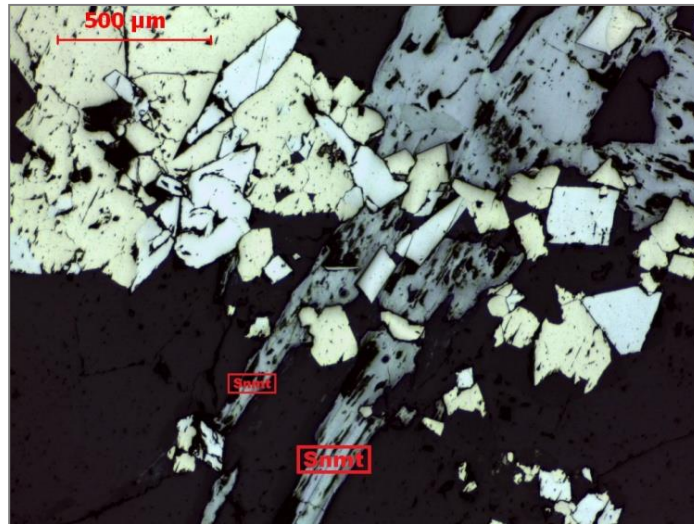


Figura 81 - Associação entre arsenopirite, pirite e senarmontite (Snm), em microscopia de reflexão.

Devido às suas características muito semelhantes às da estibina em microscopia óptica de reflexão, a senarmontite só foi identificada após um recurso à micro-espectroscopia *Raman* (figura 82).

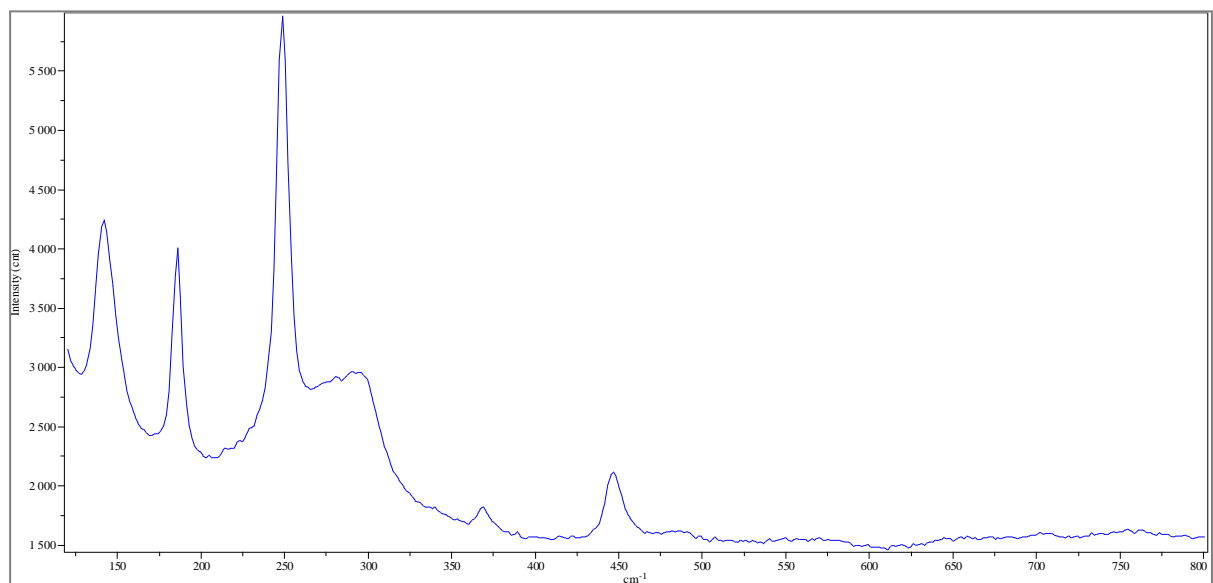


Figura 82 - Espectro *Raman* obtido nos referidos óxidos de Sb permitindo a identificação da senarmontite.



## Discussão

Segundo Gumiel e Arribas (1987), são encontradas oito associações mineralógicas nos depósitos de antimónio na Península Ibérica, embora só alguns sejam de interesse económico: quartzo-estibina, quartzo-estibina-ouro, carbonatos-quartzo-estibina-esfalerite-ouro, carbonatos-quartzo-estibina-galena-prata, quartzo-estibina-esfalerite, quartzo-estibina-scheelite, quartzo-estibina-cinábrio e quartzo-estibina-cobre.

Nos trabalhos de Neiva *et al.* (2008), baseando-se nos estudos de Portugal Ferreira *et al.* (1971); Santarém e Portugal Ferreira (1976); Couto *et al.* (1990); Noronha *et al.* (1998), relativos a jazigos do nordeste de Portugal, consideraram vários tipos de associações para depósitos de Sb, Pb–Sb e Sb–Au.

As associações referidas são:

(a) quartzo + estibina, em veios de quartzo com estibina, onde o quartzo serve como ganga;

(b) quartzo + pirite + galena + bertierite, em veios de Pb–Sb-quartzo;

(c) três diferentes associações para os veios de Sb–Au-quartzo:

I - quartzo + esfalerite + estibina;

II - quartzo + pirite + bertierite + estibina;

III - quartzo + arsenopirite + pirite + estibina.

Os mesmos autores referem que, alguns dos minerais ocorrem em diferentes associações, sugerindo desta forma, que a deposição mineral foi um processo polifásico e muito complexo.

Noronha *et al.* (1998) ao descrever as mineralizações de Pb-Sb (Au) do NE de Portugal, consideraram a existência de cinco estádios de deposição: ferro-arsenífero, zinco-cuprífero, plumbo-antimonífero, antimonífero e o último estádio caracterizado por uma alteração supergénica.

Propomos a existência de estádios de deposição diferentes dos estádios já descritos: dois estádios ferro-arsenífero (primário e secundário), um estádio zinco-cupro-plumbífero, um estádio antimonífero e por último um estádio caracterizado por uma alteração supergénica.

O quartzo euédrico terá sido o primeiro mineral a depositar tendo sido seguido pelo quartzo em mosaico. A arsenopirite I, foi o primeiro sulfureto a formar-se e a ela seguiu-se a pirite I. O ouro, ocorre no interior da pirite I. Uma vez que este cristal foi o único encontrado, não foi esclarecida qual a verdadeira associação do ouro, uma vez que na bibliografia consultada, este se encontra associado a um estádio antimonífero mais tardio. Este primeiro estádio, poderá corresponder a um estádio ferro-arsenífero primário. Foram também identificados calcopirite e esfalerite, posteriores à associação descrita nos estádios ferro-arseníferos.

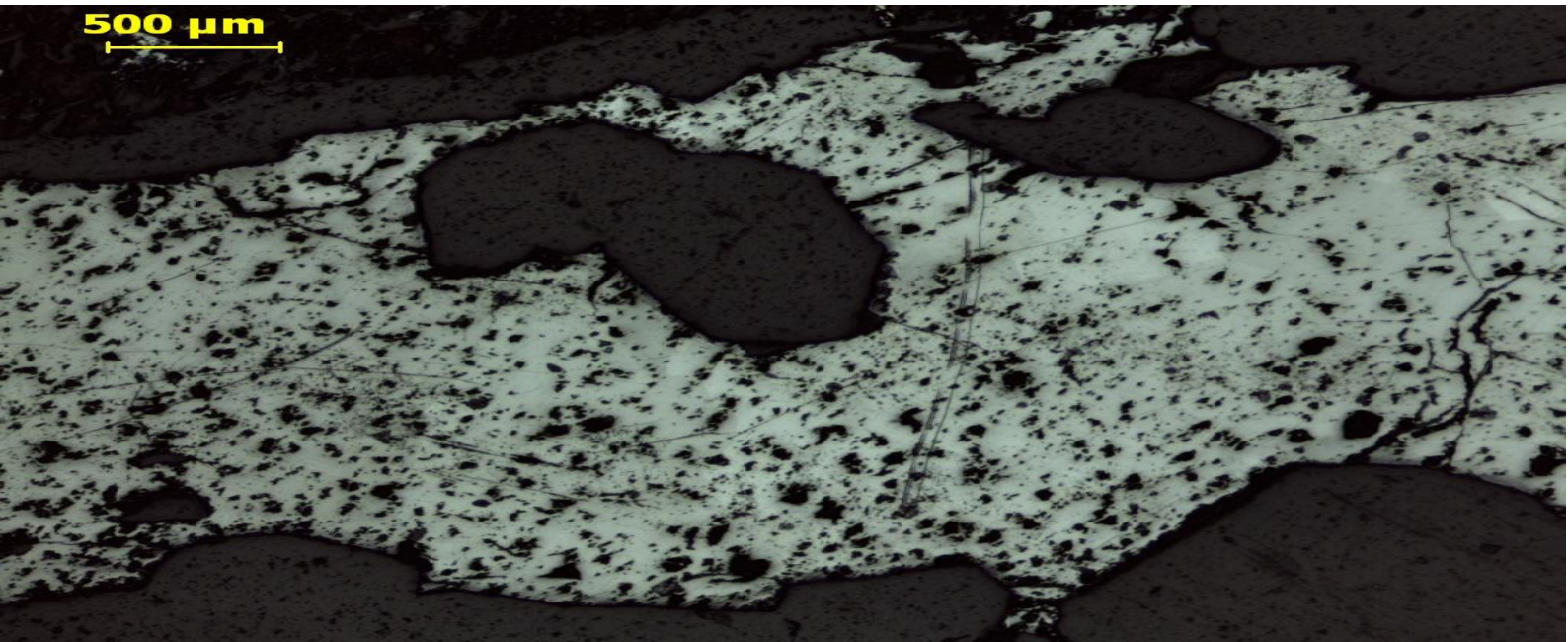
Relativamente à galena, devido à sua escassez nas amostras estudadas, não podemos estar seguros quanto à sequência deposicional. No entanto, o seu modo de ocorrência, corresponde ao que designamos ser o estágio zinco-cupro-plumbífero.

Uma segunda geração de arsenopirite e pirite é observada, porém não se conseguiu estabelecer uma relação entre as duas gerações. Este estágio, foi denominado de ferro-arsenífero secundário. De referir ainda, a presença de clorite não só na rocha encaixante, como a rodear a arsenopirite I e a pirite I. A bertierite e a estibina, preenchem fraturas dos sulfuretos anteriormente depositados. A calcostibite aparece após a deposição destes últimos, sugerindo o estágio antimonífero, definido por Noronha *et al.* (1998). Posteriormente, ocorreu a deposição de carbonatos, que não evidenciam qualquer relação de deposição com os restantes minerais. Finalmente, a cervantite e a senarmontite, ter-se-ão formado devido a processos de alteração supergénica, tal como já tinha sido evidenciado por Noronha *et al.* (1998) (Quadro I).

Quadro I - Minerais dos diferentes estádios de deposição do Sítio da Coitadinha.

Minerais	Estádios de deposição						
		Fe-As (I)	Fe-As (II)	Zn – Cu - Pb	Sb	Alteração Supergénica	
Quartzo euédrico							
Quartzo em Mosaico							
Arsenopirite I							
Ouro				?			
Pirite I							
Calcopirite							
Esfalerite							
Galena							
Arsenopirite II							
Pirite II							
Bertierite							
Estibina							
Calcostibite							
Cervantite							
Senarmontite							
Clorite							
Calcite							





# Conclusões



## Conclusões

O estudo nas amostras provenientes da mina do Sítio da Coitadinha permitiram a identificação de minerais metálicos, como a arsenopirite, a pirite, o ouro, a calcopirite, a esfalerite, a galena, a estibina, a bertierite, a calcostibite e os óxidos de Sb; e não metálicos, nomeadamente o quartzo, a clorite e a calcite, assim como o modo de ocorrência dos mesmos.

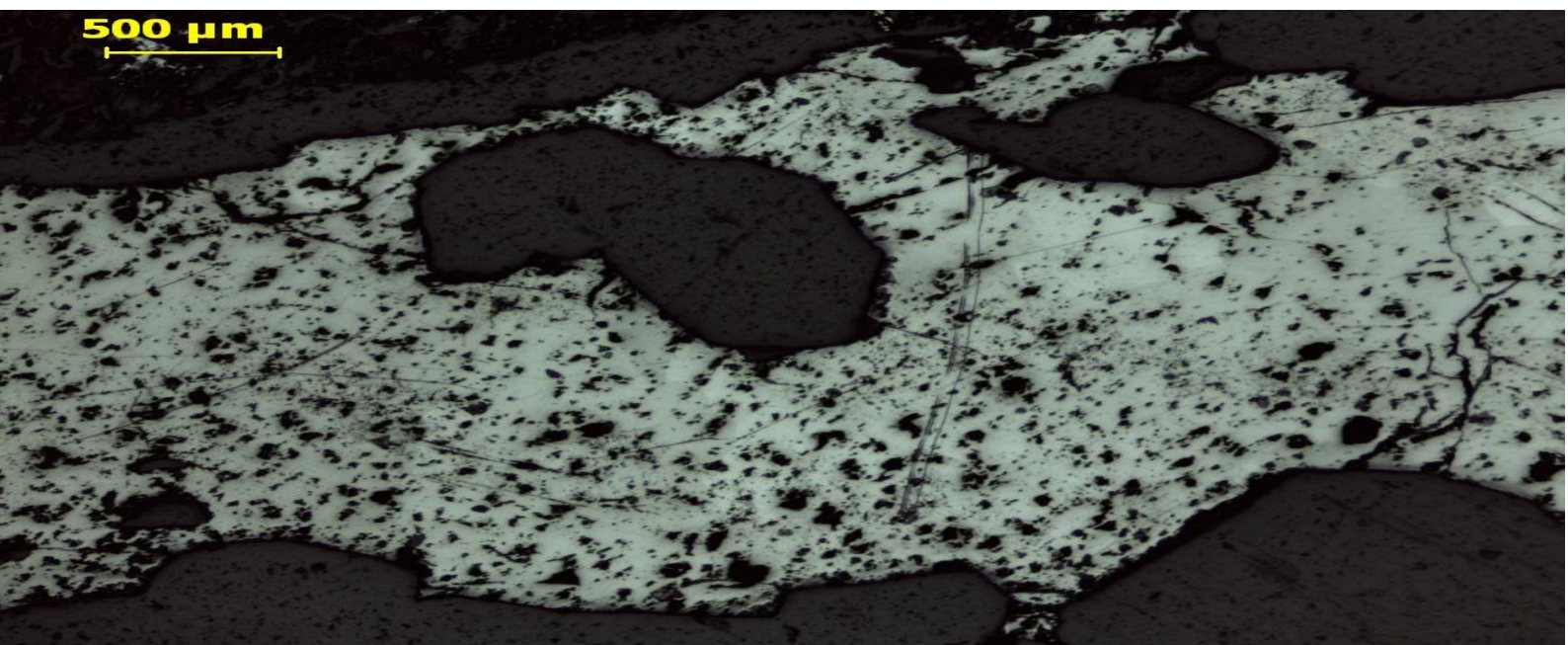
Comparando este trabalho com trabalhos anteriores como Neiva (2008), identificaram-se algumas semelhanças quanto à mineralogia encontrada, assim como a sua sequência de deposição. Existem relações de deposição descritas por Neiva (2008) que não foram possíveis identificar, por vezes devido ao número reduzido de amostras, outras vezes devido à pequena dimensão dos cristais encontrados.

Verificou-se por isso, que a maioria das ocorrências são bastante simples e constam no essencial de quartzo, estibina e bertierite, o que leva a admitir uma deposição em ambientes de baixa temperatura. Porém, minerais como a arsenopirite e a pirite, evidenciam a sobreposição de eventos característicos de mais alta temperatura, provando a existência de diferentes períodos de circulação de fluidos mineralizadores. É possível salientar ainda a especificidade dos fluidos que depositaram a calcite, juntamente com o quartzo, formando veios de calcite e quartzo.

O fato de a mina do Sítio da Coitadinha ser uma escombreira, aliado às poucas amostras analisadas e à pouca quantidade e a dimensão muito reduzida destes cristais, em nada facilitou a visualização de Au e Pb. Na nossa opinião, a classificação desta mina como sendo uma mina de Sb - Pb (Au) é um pouco excessiva.

Conclui-se, finalmente, que após todos os estudos realizados no Sítio da Coitadinha, os primeiros estádios de deposição apresentam metais (arsenopirite e pirite) de mais alta temperatura, tendo posteriormente sido depositados (estibina e bertierite, por exemplo), sendo por isso um jazigo epitermal. A sua paragénese é Sb (Au).





# **Referências Bibliográficas**





## Referências Bibliográficas

Almeida, A.; Noronha, F. (1988); *Fluids associated with W and Ag-Au deposits of the Mirandela area, NE Portugal: an example of peri-granitic zoning*. Bull. Miner., Paris, 111: 331-341.

Arenas, R., Farias, P., Gallastegui, G., Gil Ibarguchi, J., Gozalez Lodeiro, F., Klein, E., Marquinez, J., Martin Parra, L., Martinez Catalan, J., Ortega, E., Pablo Macia, J., Peinado, M., Rodriguez Fernandez, L., (1988). *Características geológicas y significado de los dominios que componen la Zona de Galicia-Tras-os-Montes*. In: *Simposio sobre Cinturones Orogénicos*, II Congresso de Geologia de Espana, Granada, 75-84.

Arthaud, F., Matte, Ph., (1975). *Les de´crochements Tardi-Hercyniens du Sud-ouest de l'Europe. Géometrie et essai de reconstitution des conditions de la de´formation*. Tectonophysics 25, 139– 171.

Couto, H., (1993). *As mineralizações de Sb-Au da região Dúrico-Beirã*. Tese de doutoramento, Universidade do Porto, 607 p.

Couto, H., Roger, G., Moelo, Y. & Bril, H. (1990). *Le district a antimoine-or Dúrico-Beirão Portugal: Evolution paragenétique et geochimique; implications metallogéniques*. Min. Deposita, 25 (supp), 69-81

Dias, R., Ribeiro, A., (1995). *The Ibero-Armorican Arc: A collision effect against an irregular continent? Tectonophysics*, 246 (1-3), 113-128.

Farias, P., Gallastegui, G., Lodeiro, F. G., Marquinez, J., Parra, L. M. M., Catalan, J. R. M., Macia, J. G. P., Fernandez, L. R. R., (1987). *Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafia y estructura de Galicia Central*. Mem. Mus. Labor. Miner. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto, 1, 411-431.

Ferreira, M. P. (1971); *Jazigos Uraníferos Portugueses, Jazigos de Au-Ag – Sulfuretos do norte de Portugal*. I Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica. Livro – Guia nº 5. D.G. de Minas e Serviços Geológicos. Lisboa pp.46-54.

Ferreira, N., Iglesias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., Ribeiro, M. L., (1987). *Granitoides da Zona Centro Iberica e seu enquadramento geodinamico*. In: *Geologia de los*

*Granitoides y Rocas asociadas del Macizo Hesperico*. Bea, et al. (Eds.) Editorial Rueda, Madrid (Libro Homenaje a L.C. Garcia de Figuerola), 37-51.

Gumiel P.; Arribas A. (1987); *Antimony Deposits in the Iberian Peninsula. Economic Geology*. Vol. 82, 1453-1463.

Ibarguchi, G. & Arenas, R. (1991) *Metamorphic evolution of the allochthonous complexes from the Northwest of the Iberian Peninsula. Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, pp. 237-246. Eds. Dallmeyer & Martinez-Garcia. Springer - Verlag. Berlim.

Iglesias, M., Ribeiro, M. L., Ribeiro, A., (1983). *La interpretacion aloctonista de la estructura del Noroeste Peninsular*. Geologia de Espana, Libro Jubilar J.M. Rios, IGME, 459-467.

Inverno, C., Carvalho, D., Parra, A., Reynaud, R., Filipe, A., Martins, L. (2010); Carta de ocorrências de minério do NE Transmontano.

Marques, F. O., Mateus, A., Tassinari C. (2001). *The Late-Variscan fracture network in N Portugal (NW Iberia): a re-evaluation. Tectonophysics* 359; 255-270.

Marques, F., Ribeiro, A., Pereira, E., (1992). *Tectonic evolution of the deep crust: Variscan reactivation by extension and thrusting of Precambrian basement in the Braganca-Moraes massifs (Tras-os-Montes, NE Portugal)*. *Geodinamica Acta* 5/1-2, 135-151.

Martinez, F. J., Julivert, M., Sebastian, A., Arboleya, M. L., Ibarguchi, J. I., (1988). *Structural and thermal evolution of high-grade areas in the north-western parts of the Iberian Massif. Amer. J. Sci.*, 288, 969-996.

Munhá, J., Ribeiro, A., Ribeiro, M. L. (1984). *Blueschists in the Iberian Variscan Chain (Trás-os-Montes: NE Portugal)*. *Com. Serv. Geol. Portugal* 70/1, 31-53.

Neiva, A. M. R. (1992). *Geochemistry and evolution of Jales granitic system, northern Portugal. Chem. Erde*, 52, 225-241.

Neiva A. M. R., András P., Ramos J.M.F., (2008); *Antimony quartz and antimony–gold quartz veins from northern Portugal. Ore Geology Reviews* 34. 533–546.

Neiva, J. M. C.; Neiva, A. M. R. (1990); *The gold area of Jales (northern Portugal)*. Terra Nova, 2, 243-254

Noronha, F., Ramos, J. M. F., Rebelo, J. A., Ribeiro, A., Ribeiro, M. L., (1979). *Essai de correlation des phases de deformation hercynienne dans le Nord-Ouest Peninsulaire*. Bol. Soc. geol. Portg., 21, 2/3, 227-237.

Noronha, F., Ramos, J. M. F., Moreira, A., Oliveira, A.F.M., (1998). Mineralizações filonianas de chumbo-antimónio do NE de Portugal. Algumas notas para o seu conhecimento. Actas do V Congresso Nacional de Geologia. Comunicação do IGM, tomo 84, 1º v, B-75-78.

Noronha F., Ribeiro M. A., Almeida A., Dória A., Guedes A., Lima A., Martins H. C., Sant’Ovaia H., Nogueira P., Martins T., Ramos R., Vieira R. (2013); Jazigos filonianos hidrotermais e aplitopegmatíticos espacialmente associados a granitos (norte de Portugal). 404 – 418.

Pereira, E., Iglésias, M., Ribeiro, A., 1984. Leucogranitos -“stockscheider” e o controlo estrutural da mineralização na mina de Montesinho-Bragança. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal 70, 11– 22.

Pereira, E., Ribeiro, A., Meireles, C., 1993. Cisalhamentos hercínicos e controlo das mineralizações de Sn-W, Au e U na Zona Centro-Ibérica, em Portugal. Cuadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe, Coruña 18, 89 – 119.

Pereira E., Ribeiro A., Silva N., (1998) - Carta Geológica de Portugal 1/50000, Folha 07-D (Macedo de Cavaleiros)

Pereira E., Ribeiro A., Castro P. (2000) – Notícia Explicativa da Folha 07-D (Macedo de Cavaleiros) da Carta Geológica de Portugal à Escala de 1/50 000, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 63 p.

Pereira, E., Ribeiro A., Marques F., Munhá J., Castro P., Meireles C., Ribeiro M.A., Pereira D., Noronha F., Ferreira N., (2001) – Carta Geológica de Portugal 1/200000. Folha 2, Trás-os-Montes.

Pereira E. et al., (2006) – Carta Geológica de Portugal 1/200000. Folha 2, Trás-os-Montes. Serviços Geológicos de Portugal, 83 p.

Ribeiro, A. (1974) - *Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes Oriental*. Mem. Serv. Geol. Portugal, 24: 168 p.

Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyzewski, G., Almeida, F.M., Carvalho, D., Monteiro, J.H., (1979). *Introduction a la Géologie Générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Ribeiro, A., Pereira, E., Dias, R., (1990). *Allochthonous sequences: structure in the northwest of the Iberian Peninsula. Pre- Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, pp. 220–236.

Ribeiro, M. L. (1976). Considerações sobre a ocorrência de crossite em Trás-os-Montes, oriental. Mem. Not. Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Universidade de Coimbra 82, p. 1-16.

Ribeiro, M. L., (1986). Geologia e Petrologia da região a SW de Macedo de Cavaleiros (Tras-os-Montes). Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 202 p.

Ribeiro, M. L. (1991) – Contribuição para o conhecimento estratigráfico e petrológico da região a SW de Macedo de Cavaleiros (Trás-os-Montes Oriental). Mem. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 30, 106 pp.

Santarém Andrade, R., Portugal Ferreira, M., (1976). Distrito antimonífero Dúrico–Beirão: mineralização de Sb–Zn–Pb no jazigo de Ribeiro da Igreja (Valongo, Norte de Portugal). Memórias, Notícias e Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra 82, 67–77.

Schermerhorn, L. J. C. (1981). *Framework and evolution of hercynian mineralization in the Iberian meseta*. Leidse Geol. Med., 52, 1, 23-56

Seal II, Robert R.; Robie, Richard A.; Barton, Paul B. Jr; Hemingway, Bruce S. (1992). *Superambient Heat Capacities of Synthetic Stibnite, Berthierite, and Chalcostibite: Revised Thermodynamic Properties and Implications for Phase Equilibria. Economic Geology*. Vol.87. pp. 1911-1918

Thadeu, D., (1977). *Hercynian paragenetic units of the Portuguese part of the Hesperic Massif. Bol. Soc. Geol. Portg.*, 20, 247-276.

Ugidos, J. M., (1990). *Granites as a paradigm of genetic processes of granitic rocks: I-types vs S-types*. In: R. D. Dallmeyer e E. Martinez Garcia (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, 189-206. *Springer-Verlag, Berlin*.

Whitney, D., Evans, B., (2010) – *Abbreviations for names of rock-forming minerals, American Mineralogist*, Volume 95, 185-187pp.



